ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre du progrès
des sciences au service du genre humain

VOLUME XVII Octobre 1958 NUMÉRO 68

SOMMAIRE

5:42/49:070.432
Article de Tête: Le langage de la science 171

551.24
Sur quelques facteurs régissant le développement de l'écorce terrestre — V. V. BELOUSSOV — 173

591.484.6:577.15
Les rapports entre la biochimie de l'œil et ses propriétés optiques — ANTOINETTE PIRIE, M.A., Ph.D. — 181

576.312.2:547.963.32
Quelques progrès récents en biologie moléculaire — M. F. PERUTZ, Ph.D., F.R.S. — 190

54:133.5«15»(438)
La chimie et l'alchimie à Cracovie au XVIe siècle — WŁODZIMIERZ HUBICKI, M.A., Ph.D. — 204

541.515
Radicaux libres en cage — H. P. BROIDA, A.B., A.M., Ph.D. — 208

523.4:531.352:621.396.9
Le repérage des satellites artificiels, son but et les méthodes utilisées — E. G. C. BURT, B.Sc., A.M.I.E.E. — 216

049.3
Revue des livres 223

Brèves notices bibliographiques 227

Notes biographiques sur les collaborateurs 228

Livres reçus .. .. Couverture III

Rédacteur en chef: TREVOR I. WILLIAMS, M.A., B.Sc., D.Phil., F.R.I.C.
Rédacteurs adjoints: G. N. J. BECK, B.Sc., A.M.I.E.E. (*Pour les éditions étrangères*)
W. A. OSMAN, B.Sc., M.Sc., A.R.C.S.

Imperial Chemical Industries Limited, Millbank, Londres, S.W.1
Prière d'adresser toute correspondance à la rédaction, North Block, Thames House, Millbank, Londres, S.W.1

Le langage de la science

L'existence de dispositions permettant l'échange rapide de nouvelles idées et de résultats d'expérience entre chercheurs s'intéressant aux mêmes problèmes constitue l'un des principaux facteurs de progrès en science. Etant donné que les scientifiques se targuent d'être avant tout des gens méthodiques, il est surprenant qu'ils se soient si peu souciés jusqu'ici de s'entendre pour organiser ces échanges de telle manière qu'on puisse faire face aux besoins actuels. Il y a abondance de publications scientifiques, sous forme de livres ou de revues: la «Liste mondiale des périodiques scientifiques» compte aujourd'hui environ 50 000 titres. A tel point que l'homme de science de notre époque ne peut plus lire tout ce qui se publie sur sa propre spécialité, et encore moins ce qui ne s'y rapporte pas directement. Et pourtant l'acquisition d'une documentation étendue s'impose de plus en plus, car c'est souvent dans les domaines où se rencontrent plusieurs disciplines scientifiques que s'effectuent les découvertes les plus intéressantes.

Le problème que pose la masse même des publications est certainement grave; mais ici au moins on a trouvé et utilisé des solutions efficaces. Il y a, en premier lieu, les bulletins d'analyses dont la valeur est incontestable. D'autre part la multiplicité des revues a son utilité: les moins importantes servent, pour ainsi dire, de filtres, en ce sens qu'elles signalent les travaux d'importance reconnue aux publications plus accréditées et à plus grand tirage.

Cependant le problème tout aussi important d'une langue scientifique reste intact. C'est là une question — comme tant d'autres! — qui exige, de l'avis de tous, une initiative internationale, mais sur laquelle on ne peut en fait arriver à aucun accord. D'ailleurs la meilleur volonté du monde et une entente parfaite ne sauraient y apporter une prompte solution: il faut d'abord préciser l'objectif à atteindre, puis tenter de s'entendre sur le moyen d'y arriver. Entre-temps, du fait de la diversité des langues, beaucoup de savants restent dans l'ignorance des travaux effectués dans d'autres pays et qui auraient pu leur être d'une utilité immédiate. En outre, la situation s'aggrave en raison des rapides progrès de la recherche scientifique dans certains pays naguère relativement arriérés.

Les données générales du problème sont aisément établies, sans discussion possible. On sait, par exemple, qu'une bonne partie des publications scientifiques sont rédigées en une langue que plus de la moitié des savants du globe ne comprennent pas. La répartition des périodiques selon la langue présente de grandes disproportions: 44% en anglais, 14% en allemand, 13% en français, 8% en russe, 5% en espagnol, 4% en italien et le reste en d'autres langues. Ces chiffres ne peuvent être qu'approximatifs et varient d'une spécialité à l'autre; mais ils donnent une idée générale de la situation. Les proportions sont d'ailleurs appelées à changer rapidement: par exemple, le pourcentage des revues publiées en russe augmentera certainement, au train où vont les choses. D'autre part, tout porte à croire que la littérature scientifique chinoise prendra de l'importance et il est probable, ne serait-ce que pour des raisons politiques, qu'elle sera rédigée en chinois et, secondairement, en russe. Il se peut que l'hindi et d'autres langues peu connues en Occident deviennent un jour d'importants idiomes scientifiques. Si l'on ne prend aucune initiative à ce sujet, le problème se compliquera davantage et la solution en sera plus difficile.

Dans l'hypothèse — actuellement très optimiste — d'un accord international visant à atténuer ces difficultés, quelles sont les mesures qui conviennent? Les plus praticables sont au nombre de trois: la première, idéale apparemment, serait l'adoption d'une seule langue comme véhicule des communications scientifiques. La deuxième serait de faire un choix de quelques-unes parmi les langues les plus largement utilisées en science. La troisième serait un recours accru aux traductions faites par des spécialistes.

En examinant les alternatives ci-dessus, il faut tenir compte de l'avenir autant que du présent. Pour l'immédiat, en prenant la situation telle qu'elle est et non telle qu'on voudrait qu'elle fût, la seule solution possible est d'intensifier les travaux de traduction. C'est celle qu'a adopté ENDEAVOUR dès ses débuts en 1942; nous considérons actuellement nos éditions en langues étrangères comme étant indispensables pour atteindre notre objectif, qui est de faire un inventaire, d'utilité internationale, des progrès de la science. L'extension donnée récemment aux traductions scientifiques est une preuve de la faveur dont jouit notre point de vue. L'extension en question est évidemment due en grande partie à un facteur relativement nouveau: la multiplication des publications scientifiques en langue russe. Nous

sommes ici en présence d'une prolifération subite et sans précédent d'importants ouvrages scientifiques rédigés en une langue qui n'est seulement inhabituelle parmi les savants mais complètement inconnue. Dans une telle circonstance l'Occident n'a pas le choix; il lui faut avoir recours à des traductions. Notons que la situation inverse n'existe pas: il paraît qu'au moins 50% des savants et des techniciens russes possèdent le français, l'anglais ou l'allemand, ou même plus d'une de ces langues.

Or, le système de la traduction, bien qu'indispensable, ne peut s'étendre à l'infini: il constitue un gaspillage de temps, d'argent et de personnel scientifique; c'est en outre une source de retards et de malentendus. A ce propos, on ne se rend généralement pas compte à quel point il est difficile de traduire avec exactitude des textes hautement techniques. Dans les domaines où les progrès sont rapides les termes d'importance fondamentale peuvent ne pas avoir d'équivalents dans certaines langues et la traduction de leur sens précis exige de savantes circonlocutions. Un accroissement des services de traduction sera inévitable au cours des quelques années à venir, mais le danger d'une telle pratique est qu'elle peut mener à une organisation étendue et coûteuse dont l'existence même fera obstacle à l'adoption de nouvelles méthodes appelées à donner plus de satisfaction.

Une langue scientifique universelle serait souhaitable à de nombreux titres, mais le choix et la mise au point en seraient extrêmement difficiles. Il y a d'abord les obstacles suscités par la politique ou le nationalisme. Ceux-ci peuvent être surmontés par l'adoption d'une langue morte, comme le latin, ou d'une langue artificielle, comme l'espéranto ou l'interlingua. Les langues artificielles ont malheureusement le défaut capital de ne pouvoir, de par leur nature même, exprimer les fines nuances; elles conviennent pour la description de faits, mais pas pour l'expression des idées, surtout quand celles-ci sortent de l'ordinaire. Le latin n'a pas ce défaut; il a acquis beaucoup de souplesse au cours de sa longue évolution, qui a pris fin malheureusement avant l'avènement de la science moderne. Son vocabulaire et sa syntaxe ne se prêtent donc pas aux exigences actuelles: les orateurs universitaires qui ont eu à décrire en latin des travaux scientifiques en savent quelque chose! C'est bien dommage que le latin ne soit plus la langue internationale des savants, mais il est douteux que l'on puisse maintenant le rétablir dans cette fonction.

Le choix d'une seule langue aurait le grand avantage de n'imposer à personne l'étude de plus d'une langue étrangère, et l'argument en faveur de cette alternative est renforcé du fait que son efficacité dépend de la mesure où tous les savants seraient à même non pas seulement de lire mais aussi d'écrire la langue choisie, ce qui est beaucoup plus difficile. C'est au prix de beaucoup de temps et d'efforts qu'on arrive à écrire convenablement ne serait-ce qu'une seule langue étrangère.

Il est probable qu'un compromis, reconnaissant deux ou trois langues modernes comme étant les truchements officiels de la science, aurait quelque chance de succès. Cependant, même si une décision était prise immédiatement dans ce sens, elle n'aurait plein effet que dans plusieurs années. Pour rendre la décision efficace il faudrait que beaucoup de pays apportent des modifications à leurs programmes d'enseignement, car, sans une étude méthodique on ne peut arriver à posséder à fond une langue étrangère. En admettant que ces réformes se réalisent, ce n'est pas de si tôt qu'on en verrait les fruits. La certitude de rencontrer des difficultés ne devrait cependant pas empêcher l'élaboration d'une méthode acceptable à tous. L'enseignement des langues figure d'ailleurs aux programmes de tous les pays, et il ne devrait pas être difficile, étant donné l'importance du but à atteindre, de substituer une langue à une autre, le cas échéant.

Ce ne sont pas seulement les sciences qui souffrent des différences de langues, mais tous les autres domaines du savoir: politique, industrie, commerce, et toute activité internationale. De sorte que si les savants prenaient l'initiative, d'autres suivraient. La communauté de langue, tout en n'étant pas un garant d'entente parmi les peuples, leur fournit tout au moins le moyen de se comprendre, ce qui dans les circonstances actuelles est d'une urgence extrême.

Sur quelques facteurs régissant le développement de l'écorce terrestre

par V. V. BELOUSSOV

Les mécanismes qui régissent les mouvements de l'écorce terrestre sont extrêmement complexes. Néanmoins, on connaît maintenant suffisamment l'ordre dans lequel ces mécanismes se présentent pour comprendre comment la croûte terrestre a acquis son état actuel; cette connaissance conduit à d'utiles déductions pour les géologues des mines et ceux qui s'intéressent à des problèmes d'intérêt pratique immédiat; elle permet également de prévoir l'évolution future vraisemblable. Cet article traite en particulier des recherches effectuées en Union Soviétique, tant sur le terrain que sur maquettes, au cours des vingt dernières années.

Chacun sait que l'écorce terrestre n'est pas au repos. Son état de mobilité continuel se traduit par de lents soulèvements en certains endroits, et des affaissements en d'autres; les tremblements de terre correspondent à des bouleversements brusques. La diversité et la complexité des mouvements de l'écorce et les lois qui les régissent n'apparaissent cependant qu'aux spécialistes. De tels mouvements tectoniques de l'écorce reflètent la vie interne de notre globe, mais on n'en saisit la véritable nature que d'une façon encore très inadéquate. L'étude de ces mouvements, de leur diversité, de leur succession et de leurs relations mutuelles, est du plus haut intérêt scientifique.

La connaissance des facteurs qui régissent les mouvements tectoniques prend une importance pratique plus grande encore en conséquence du processus de formation de la structure actuelle de l'écorce terrestre. La répartition des sédiments, leur étendue, leur composition et leur épaisseur, la disposition des plissements et des failles, représentent l'ensemble des effets tectoniques du passé. La connaissance de l'histoire de ces mouvements permet de prévoir l'arrangement et les formes des masses de différentes roches. Certains types de ressources minérales sont associées à des types particuliers de roches, ou à des structures plissées ou faillées. Ainsi, les principes qui règlent le développement tectonique de l'écorce fournissent des bases pour beaucoup de moyens d'estimation de la répartition des ressources minérales, pour l'établissement de tableaux métallogéniques et de cartes de distribution probable des couches pétrolifères, des veines de houille, etc.

La géotectonique est la branche de la géologie qui s'occupe des causes et des effets des mouvements de l'écorce terrestre. Cette science a pris une grande extension en Union Soviétique au cours des quinze ou vingt dernières années, à la fois dans ses aspects pratiques et théoriques. Quelques-unes des idées contemporaines relatives à la tectonique seront développées dans ce qui va suivre. Cet article traite des phénomènes tectoniques qui se produisent, ou qui se sont produits, dans la partie de l'écorce terrestre qui constitue les continents, mais laisse de côté la structure et le développement des bassins océaniques. La contribution de l'auteur est basée en grande partie sur les résultats des recherches soviétiques et jusqu'à un certain point sur les siennes.

L'étude de l'écorce terrestre montre qu'elle est soumise à différentes sortes de mouvements. Plusieurs cadres de classification de ces mouvements ont été proposés, mais nous nous limiterons au plus simple d'entre eux, distinguant: mouvements oscillatoires, plissements et failles. Les premiers consistent en élévations ou abaissements lents de l'écorce; les seconds, en bouleversements plicatifs des couches; les troisièmes, en cassures ou failles.

Ces différents types de mouvements n'ont pas tous la même signification. Les mouvements oscillatoires sont d'importance fondamentale. Ils apparaissent sur toute la surface de l'écorce terrestre, constituant le fond général, alors qu'au contraire les plis et les failles ne se produisent qu'à certains endroits et au cours de certaines époques. On a des raisons de penser que les mouvements oscillatoires sont la cause principale de la formation des plis et des failles.

LES MOUVEMENTS OSCILLATOIRES

Les mouvements oscillatoires qui ont lieu de nos jours peuvent être étudiés de la façon la plus exacte par les méthodes géodésiques, par exemple, la

répétition de nivellements précis. Les mouvements qui se sont produits en des temps historiques sont démontrés par la découverte des cités recouvertes par la mer, en raison d'un affaissement du sol, ou l'observation de ports maintenant éloignés de la mer par suite de l'exhaussement du sol.

Cependant la géologie s'intéresse surtout aux mouvements oscillatoires anciens, qui se sont effectués aux époques géologiques reculées. Ces mouvements ont laissé leurs traces dans l'écorce terrestre sous forme de dépôts sédimentaires, dont la composition et l'épaisseur varient d'un lieu à l'autre.

Les couches sédimentaires que l'on rencontre dans les aires continentales sont des dépôts d'eau peu profonde, ou bien de régions basses deltaïques et de plaines côtières. Il est évident que les bassins océaniques profonds n'ont pas, en général, occupé l'emplacement de ces plateformes continentales. Parmi les dépôts qui se sont formés sur la terre ferme, seuls ont été conservés ceux des contrées basses, car, en règle générale, ceux des régions élevées (vallées des cours d'eau, par exemple) ont subi une érosion rapide sous l'action des eaux. En elles-mêmes, l'accumulation et la conservation des sédiments sont toujours la preuve d'une subsidence de l'écorce terrestre. Ainsi, les régions de la croûte terrestre où se sont accumulés des sédiments ont été, à ce moment-là, des zones d'affaissement.

La composition des sédiments en un lieu donné dépend en grande partie des conditions et du comportement des régions élevées voisines, au moment de leur dépôt. Si un soulèvement s'est produit rapidement, avec une force considérable, ces régions ont subi une érosion rapide et de grandes quantités de produits détritiques grossiers en ont été emportés dans les zones de subsidence. Lors des soulèvements lents, l'érosion était peu active, et seulement des matériaux fins, en petites quantités, ont été emmenés à la périphérie des régions de subsidence. Le reste de ces régions, c'est-à-dire la plus grande partie, a été comblé par des dépôts organiques d'origine locale, essentiellement calcaires. Ainsi, la détermination de la distribution et de la composition des séries sédimentaires des divers âges permet de juger de la répartition première des régions de subsidence et de soulèvement, et d'estimer le taux relatif de ce dernier.

La mesure des variations régionales d'épaisseur des dépôts d'un âge donné fournit des renseignements complémentaires. Par exemple, l'épaisseur des dépôts jurassiques du centre de la dépression russe est de l'ordre de dix mètres, tandis que dans le Caucase elle atteint quelques milliers de mètres. Il a été établi que les dépôts en mer peu profonde et sur les régions basses du continent se sont accumulés dans la mesure permise par la subsidence du sol, et que leurs épaisseurs correspondent étroitement à l'ampleur finale de l'affaissement. A l'intérieur d'une même région de sédimentation, il est donc possible de séparer les zones d'affaissement plus ou moins important. L'exemple dont il vient d'être question montre qu'au Jurassique, une subsidence a eu lieu à la fois dans le Caucase et dans la dépression russe, mais dans la première région elle fut beaucoup plus importante, donc à un taux beaucoup plus grand.

Ces méthodes, et d'autres encore, ont été utilisées pour étudier l'histoire des mouvements oscillatoires en différentes régions. En Union Soviétique, des travaux de cet ordre ont été effectués sur la plate-forme russe, dans le Caucase, en Crimée, dans le Tian-Chan, le Kopet-Dag, l'Oural et d'autres régions. Au cours de ces travaux, quelques-uns des facteurs qui régissent le développement des mouvements oscillatoires ont été déterminés. Ils vont être maintenant rapidement discutés.

Lors des mouvements oscillatoires l'écorce terrestre peut toujours être divisée en régions de subsidence et régions de soulèvement. On peut observer une certaine périodicité générale dans l'évolution de ces mouvements; à certaines époques, les soulèvements sont partout prédominants, et à d'autres, ce sont les affaissements. Ce fait permet de reconnaître des cycles géotectoniques dans l'histoire de la terre. Chaque cycle débute par une phase de prédominance des soulèvements au cours de laquelle la superficie des terres émergées atteint son maximum, le relief est élevé et les mers sont en régression; on a ensuite une phase où la subsidence est prédominante, l'étendue des terres émergées se réduit; elles se transforment en basses-terres, tandis que les mers s'étendent. Le cycle se termine par un nouveau soulèvement accompagné d'un recul des mers. Un nouveau cycle recommence avec les mêmes successions.

Cette «inspiration-expiration» de notre planète est l'une de ses caractéristiques les plus remarquables. La durée des cycles majeurs est très longue: une estimation grossière conduirait à une valeur de l'ordre de 150 millions d'années. Les cycles les mieux connus sont les trois derniers, nommés: Calédonien, Hercynien (Varisque) et Alpin. Le premier couvre le Cambrien, l'Ordovicien et le Silurien; le second, le Dévonien, le Carbonifère et le Permien, et le troisième, le Trias, le Jurassique, le Crétacé, le Paléogène, le Néogène et le Quaternaire. La périodicité des mouvements oscillatoires

est la cause de la répétition dans la succession stratigraphique de couches de composition semblable (figure 1). Certaines ressources minérales étant associées à des types particuliers de sédiments, les mêmes périodicités déterminent la distribution de ces ressources. Ainsi, par exemple, deux grandes réserves de pétrole et de charbon sont connues, l'une d'elle est liée au système Carbonifère, et l'autre au Paléogène (figure 2). Les sources principales de sel, de gypse, etc., sont les dépôts du Silurien, du Permien et du Néogène. Le cycle Alpin, le dernier, montre quelques irrégularités dans son développement. Les passages d'une phase de ce cycle à la suivante ont eu lieu à des époques différentes dans la région Pacifique (Asie Orientale, Ouest de l'Amérique du Nord) et dans la région Atlantique (Europe, Est de l'Amérique du Nord).

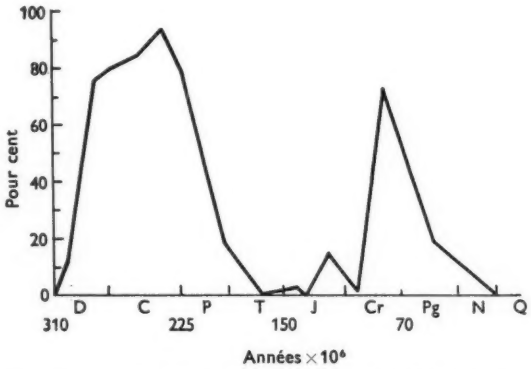


FIGURE 1 – *Variation du pourcentage de calcaire contenu dans les autres matériaux de la plate-forme russe au cours des cycles Hercynien et Alpin (d'après A. B. Ronov).*

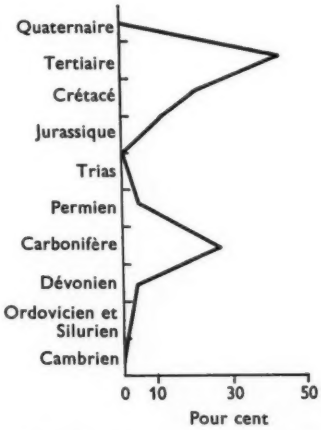


FIGURE 2 – *Répartition des ressources pétrolières du globe suivant les systèmes géologiques (d'après I. M. Gubkin).*

Un caractère intéressant des mouvements oscillatoires est leur complexité: des mouvements d'ordres différents sont toujours superposés les uns aux autres. La subsidence se complique de soulèvements locaux ou partiels, et les exhaussements, de dépressions partielles. La superposition mutuelle de mouvements de divers ordres, qui sont évidemment régis par des phénomènes se produisant à des profondeurs variées à l'intérieur de la terre, permet de décrire un soulèvement particulier comme étant absolu, c'est-à-dire une élévation de la surface terrestre par rapport au niveau de la mer, ou relatif, prenant par exemple la forme d'une subsidence moins prononcée que dans les régions environnantes. Si un soulèvement partiel se produit dans une région d'affaissement général, le résultat final sera évidemment la somme algébrique des deux mouvements. Habituellement, au cours de périodes d'affaissement général, un soulèvement est relatif, tandis qu'en périodes de soulèvement général, il est absolu.

Au cours des trois derniers cycles, et probablement aussi au cours des trois ou quatre précédents, les masses continentales se sont divisées en régions de deux types différents: géosynclinaux et plates-formes. Les géosynclinaux sont caractérisés par des mouvements oscillatoires opposés extraordinairement intenses. Ils consistent toujours en zones étroites et allongées dans lesquelles se produisent des mouvements différentiels rapides, de sens opposé, dont la vitesse moyenne calculée sur une longue période atteint quelques millimètres et parfois quelques centimètres par an. Dans les ceintures de subsidence occupées par la mer s'accumulent des formations sédimentaires de grande épaisseur (jusqu'à dix ou douze kilomètres) et les zones de soulèvement prennent la forme de crêtes montagneuses insulaires. A la fin du cycle tectonique, lors de la phase de prédominance des soulèvements sur les affaissements, de hautes montagnes se forment sur l'emplacement des géosynclinaux. La disposition des régions d'élévation et de dépression n'est pas fixe pendant tout un cycle tectonique. Des régions soulevées apparaissent à l'intérieur d'aires de subsidence; les cuvettes résiduelles sont progressivement repoussées vers les bords à la manière de vagues et empiètent sur les précédentes zones de soulèvement de telle façon que les régions de soulèvement et d'affaissement souvent changent de place avant la fin du cycle (figure 3). Par exemple, la chaîne principale du Caucase a surgi au Tertiaire dans une région occupée au Mésozoïque par un des bassins profonds du géosynclinal caucasien. La dépression

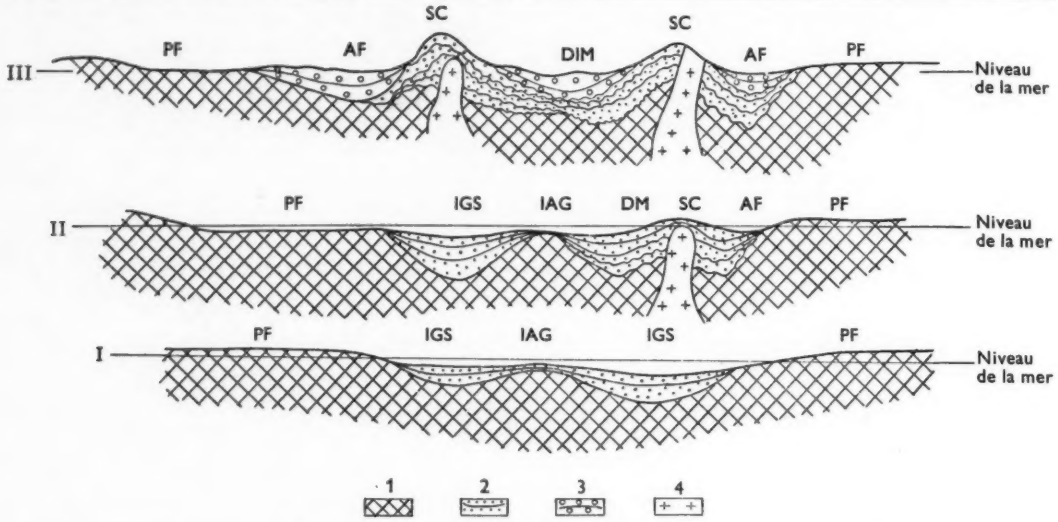


FIGURE 3 – *Diagramme schématique représentant le développement d'un géosynclinal. I. Stade initial. II. Stade intermédiaire. III. Stade de formation des montagnes.* 1. *Structure de substratum ancien.* 2. *Dépôts à prédominance marine.* 3. *Dépôts à prédominance continentale.* 4. *Granites. PF, plate-forme. AF, avant-fosse. DIM, dépression intermontagneuse. SC, soulèvement central. IAG, intra-anti-géosynclinal. IGS, intra-géosynclinal. DM, dépression marginale.*

de la rivière Koura, au sud de cette chaîne principale, s'est formée à l'emplacement d'un soulèvement beaucoup plus ancien.

Les plates-formes sont caractérisées par des mouvements oscillatoires de faible amplitude, peu rapides, avec des transitions graduelles des régions de soulèvement à celles de dépression. La répartition des régions élevées et affaissées est beaucoup plus stable que dans les géosynclinaux et change moins au cours d'un cycle, bien que dans son ensemble une plate-forme suive le même rythme général d'abaissement et d'exhaussement.

Dans chaque cycle, les surfaces occupées par les plates-formes s'agrandissent aux dépens de celles des géosynclinaux. Les cycles anciens se distinguent des plus récents par la croissance plus rapide des plates-formes; ceci représente pour le développement de l'écorce l'un des plus importants éléments, qui transforme les cycles tectoniques de cercles fermés en boucles de spirale.

Puisque dans chaque cycle, les régions occupées d'abord par des géosynclinaux se transforment en plates-formes, les différentes parties d'une plate-forme peuvent être d'âges différents. On peut distinguer les plates-formes jeunes, dont le développement est relativement récent, par exemple datant du début du cycle Alpin, des plates-formes anciennes, existant déjà, disons, au cycle Calédonien (figure 4). Les mouvements des plates-formes anciennes sont généralement faibles, tandis que ceux des jeunes sont plus forts. La conversion d'une région de l'état de géosynclinal en celui qui caractérise une plate-forme, peut se produire suivant un processus tellement graduel, qu'il convient d'accepter un stade intermédiaire, pendant lequel on parle de paragéosynclinal. Les plates-formes russe et sibérienne sont des exemples de plates-formes anciennes, tandis que les régions de l'Europe Occidentale, au nord du géosynclinal alpin, constituent des plates-formes récentes.

Ces considérations conduisent à se demander quel a été le comportement de l'écorce terrestre aux plus anciennes périodes géologiques et ce qu'il adviendra dans un futur très lointain. Si l'évolution s'est toujours faite et si elle se poursuit suivant la même direction, il semble probable qu'aux époques reculées, il n'y avait pas de plates-formes, et que dans un temps très éloigné, les géosynclinaux auront disparu. Aux plus anciennes époques, il est vraisemblable que les plates-formes étaient très réduites, ou totalement inexistantes, et que des mouvements de grande amplitude ont eu lieu partout. Quelques chercheurs cependant considèrent qu'à l'Archéen, l'écorce se trouvait dans un état spécial auquel la conception de géosynclinal et de plate-forme n'est pas applicable. En ce qui concerne le futur, il est plus amplement justifié d'estimer qu'après le développement universel de plates-formes, l'écorce entrera dans une phase d'évolution entièrement nouvelle.

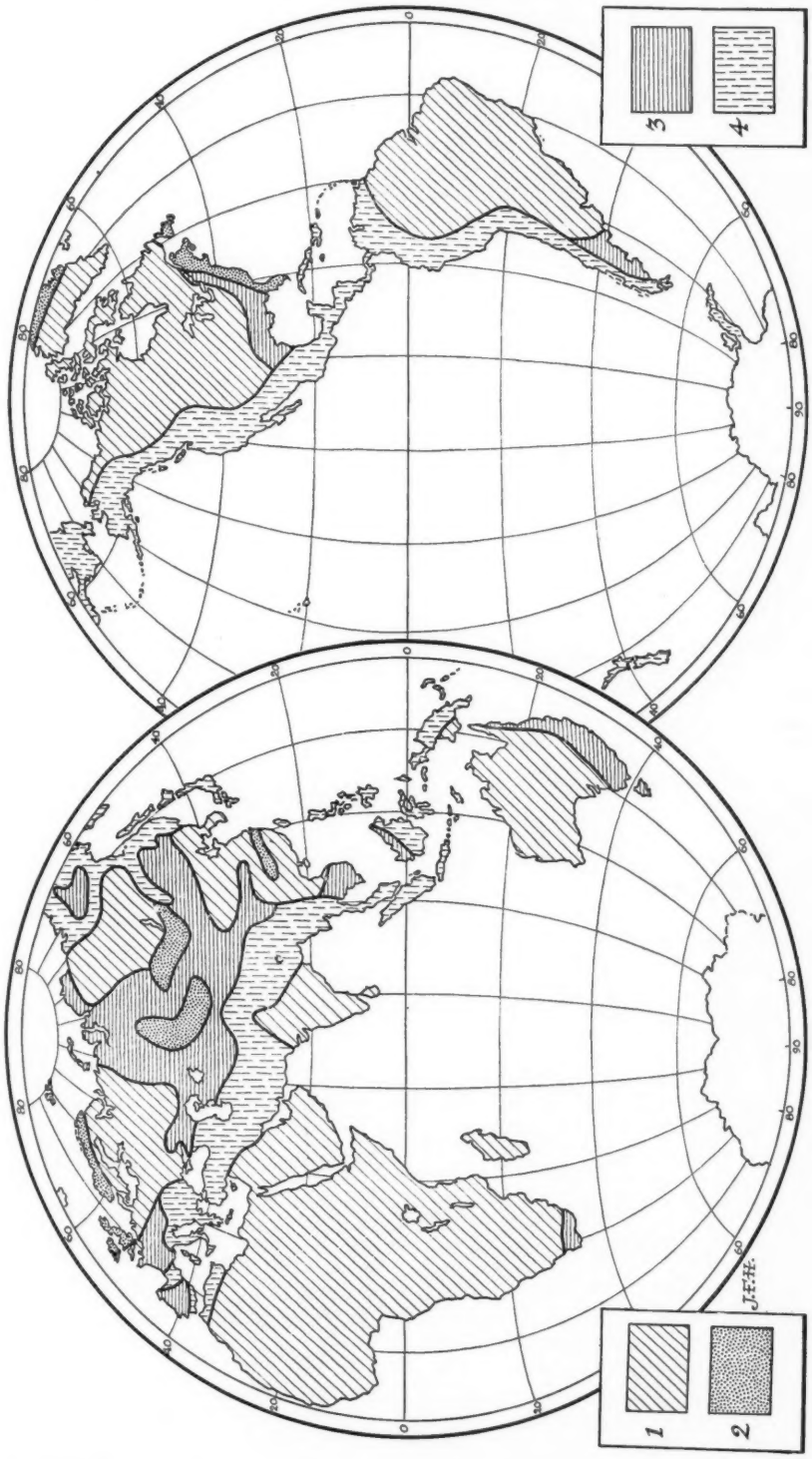


FIGURE 4 – *Schéma tectonique de la terre.* 1. *Plates-formes anciennes.* 2. *Plates-formes sur plissement Calédonien.* 3. *Plates-formes sur plissement Hercynien.* 4. *Géosynclinaux Alpins existants.*

Le caractère de cette phase est suggéré par les conditions observées actuellement en Asie Centrale et dans certaines parties du Tian-Chan, où les hautes chaînes sont séparées par de profondes dépressions inter-montagneuses. Dans ces régions, l'état géosynclinal a pris fin avec le Paléozoïque. L'état de plate-forme a existé ici au Mésozoïque et la plus grande partie du Tertiaire, mais au Néogène supérieur et au Quaternaire, a commencé une nouvelle série de mouvements tectoniques intenses. Le contraste entre les chaînes de montagnes qui ont surgi et les dépressions qui les séparent montre que les mouvements verticaux ont atteint une amplitude d'environ dix kilomètres au cours d'une période de plusieurs millions d'années. Nous désignerons ce nouveau stade de développement de l'écorce terrestre comme stade d'activation de plate-forme. Il a commencé non seulement en Asie Centrale, mais aussi en Sibérie Méridionale (Altaï, Monts des Saïans), en Afrique (région des *Rift Valleys*) et dans quelques autres régions. Il montre que la plate-forme n'est pas le terme final du développement tectonique et que la «sclérose» au sujet de laquelle de nombreux auteurs ont écrit, ne menace en aucune façon l'écorce terrestre; la plate-forme elle-même est un état instable et d'intenses mouvements peuvent se produire de nouveau après son développement.

LES PLISSEMENTS

Comme nous l'avons noté déjà, les plissements se sont développés sur un fond d'oscillations auxquelles ils sont subordonnés. Il n'y a pas très longtemps, des tentatives ont été faites pour expliquer tous les types de plissements de l'écorce en fonction d'une compression horizontale résultant d'une contraction du globe. Actuellement, il nous apparaît clairement que cette façon d'envisager est certainement incorrecte.

On doit d'abord se rendre compte qu'un grand nombre de phénomènes différents, de significations variées, se trouvent classés sous le titre de plissement. L'auteur, avec un groupe de collègues et d'élèves, poursuit actuellement des études poussées sur toute une série de régions plissées en Union Soviétique. Les études sur le terrain sont accompagnées d'expériences de laboratoire, qui dans toute la mesure du possible sont réalisées dans des conditions physiques similaires.

Le résultat de ces travaux est compatible avec l'idée que les systèmes de plissements peuvent être divisés en au moins trois catégories, qui diffèrent par le mécanisme, ou la cinématique de leur formation.

Il y a d'abord le plissement de bloc. Il s'agit de la courbure de strates résultant du soulèvement vertical ou de l'affaissement de blocs séparés de l'écorce terrestre. Les résultats caractéristiques sont des plis en coffre à sommet plat et dont les flancs plongent rapidement. Cependant, les expériences sur maquette montrent que lorsque le bloc, qui agit pour ainsi dire comme un coin-matrice, se trouve à une grande profondeur, les strates au voisinage de la surface forment des dômes au lieu des plis coffrés. Dans un grand nombre de cas, ces plis sont liés à des mouvements oscillatoires. D'après leur structure, les plis de bloc se sont souvent développés lentement pendant des périodes géologiques entières et il n'est pas rare qu'ils aient subi des mouvements alternatifs de soulèvement et d'affaissement. Leurs rapports avec les mouvements oscillatoires tiennent à leur genèse même, et ils sont très étroits; on peut reconnaître des mouvements oscillatoires effectifs dans ces plis, mais à une échelle réduite.

La seconde catégorie de plissement est celle due à des charges différentielles, et résulte du déplacement horizontal de matière dans une couche dont la plasticité augmente en profondeur. La conséquence en est que la couche s'amincit dans la région d'où il y a écoulement de matière, et s'épaissit dans celle où il y a afflux. Les strates sus-jacentes s'abaissent dans les régions de migration de matière et se soulèvent dans celles d'épaississement. Quelquefois, l'injection a un effet tellement prononcé que les couches sus-jacentes des régions d'épaississement tendent à fluer et il se produit des noyaux de pénétration. La particularité de ce genre de structure est qu'elle ne se prolonge pas en profondeur. Sous la couche plastique qui joue le rôle actif dans le plissement, les roches peuvent demeurer horizontales, ou se déformer d'une manière toute différente.

Un manque d'uniformité de la charge qui repose sur la couche plastique, dont le poids spécifique est plus faible que celui des roches sus-jacentes, sont les causes majeures du fluage horizontal dans le matériel plastique souterrain. Si les dépressions produites par les mouvements verticaux sont comblées par des sédiments, et si les parties en saillie sont érodées, la charge supportée par les couches plastiques devient inégale. L'équilibre est détruit, et le matériel plastique commence à s'écouler des dépressions vers les régions de soulèvement. Un relief inversé, avec des territoires élevés à la place de dépressions tectoniques et des terres basses à l'emplacement de soulèvements, peut contribuer à ce processus. Il est également

favorisé par un poids spécifique plus faible des roches plastiques, primitivement placées sous des couches plus lourdes, de sorte qu'elles ont tendance à remonter au-dessus des roches sus-jacentes. Ce dernier facteur agit indépendamment lors de la formation de dômes diapir, dans lesquels un noyau léger de sel ou de gypse remonte lentement comme un liquide très visqueux à travers des sables ou des argiles pesants qui le recouvrent. Le plissement dû à des charges différentielles peut entraîner des complications des plissements de blocs, dans les régions où existent dans la série plusieurs couches plastiques épaisses.

Le dernier type de plissement est un ridement général produit dans certains endroits de l'écorce terrestre, où des flexures se sont développées sous l'effet d'une compression horizontale.

Les causes des compressions horizontales ne doivent pas être cherchées, comme l'ont montré nos travaux, dans des processus d'extension universelle. Il est fondamentalement plus logique de rechercher ces causes dans des phénomènes plus locaux, en particulier ceux qui sont associés aux géosynclinaux, où les plissements généraux prédominent. Des mouvements oscillatoires opposés résulte souvent une division de l'écorce en blocs et les versants unissant des blocs en saillie aux blocs affaissés montrent une structure en palier. Lorsque des blocs s'élèvent au-dessus des régions avoisinantes, leurs parties supérieures tendent à glisser, entraînant un accroissement de pression sur les blocs voisins de niveau moins élevé, dont les strates se trouvent ridées. Un bloc en saillie, isolé, prend, en coupe, l'allure d'un énorme champignon et exerce une pression sur ceux qui l'environnent. Lorsque les blocs se suivent en paliers, chaque bloc presse sur le suivant situé plus bas. Ils se plissent ainsi les uns les autres à l'exception du plus élevé, dont la structure est ainsi des plus simples.

D'autres causes locales de ridement général peuvent être également attribuées à des mouvements oscillatoires opposés: par exemple si un bloc donné s'élève d'abord, puis s'enfonce, les strates qui le recouvrent s'étireront pendant la période de soulèvement, puis se trouveront rejetées en plis lorsque le bloc s'abaissera à nouveau. Des mouvements oscillatoires multiples produisent un nombre plus grand de plis plus complexes. D'autres exemples de facteurs intervenant dans le processus général de plissement peuvent être mentionnés; tous ont en commun le fait d'être en relation avec des mouvements opposés verticaux dans l'écorce. Cependant, le «plissotement» est prédominant dans les géosynclinaux.

Les causes mécaniques du glissement vers l'extérieur des parties supérieures des blocs soulevés sont doubles. Il y a d'abord un simple effet de gravité; en outre une expulsion vers l'extérieur de matériaux provenant de l'intérieur du bloc soulevé par suite de la résistance des couches superficielles. L'un et l'autre processus sont faciles à reproduire sur modèles.

Il y a peu de temps encore, les géologues poursuivant leurs recherches sur ce qui restait de l'hypothèse de la contraction, ne se posaient aucune question sur les causes de la formation des plis dans des zones déterminées, puisqu'ils considéraient le plissement comme un phénomène général capable seulement d'une interprétation à l'échelle régionale. Maintenant, cependant, il est nécessaire d'établir la cause locale du plissement; celui-ci peut varier d'un endroit à un autre, quoique, comme il a déjà été indiqué, il est généralement en rapport avec des mouvements oscillatoires opposés dans les géosynclinaux.

Les différents types de plissement se rattachent d'une façon systématique, comme le suggèrent les pages précédentes, au régime des mouvements oscillatoires. Le plissement de blocs apparaît toujours dans les plates-formes et les géosynclinaux. Il est plus intense dans ces derniers, mais comme c'est le type de plissement unique pour les premières, son apparition indépendante est en général caractéristique des plates-formes. Ce plissement est en général plus vigoureux sur les plates-formes jeunes que sur les anciennes.

Les plissements dus à des charges différentielles nécessitent la présence de successions épaisses comprenant des couches de roches plastiques. Des conditions favorables existent dans les dépressions profondes sur les plates-formes, où les couches salifères ou de gypse ne sont pas rares dans les successions sédimentaires. Dans ce cas, les plissements produisent le plus souvent des dômes diapir. Des conditions encore plus favorables se rencontrent dans les avant-fosses localisées entre les géosynclinaux et les plates-formes voisines. Ici les séries sont même plus épaisses et peuvent contenir des couches épaisses de sel, de gypse ou d'argile plastique. Non seulement des dômes diapir, mais aussi des plis allongés produits par injection, séparés par de larges dépressions en pente, peuvent se former: ceci s'appelle «plissement en coulisse».

Enfin, les géosynclinaux eux-mêmes, dépressions profondes comblées par des roches hétérogènes, fournissent des conditions qui ne sont pas moins favorables au plissement du type discuté précédemment. On rencontre ce type de plissement dans

les géosynclinaux, mais le ridement général prédomine et il n'est pas toujours possible de le discerner. Pour cette raison, les plissements de blocs dans les géosynclinaux n'attirent pas l'attention qu'ils méritent.

Comme il a été montré, le plissotement exige des mouvements verticaux différentiels et, en règle générale, il se trouve donc associé aux géosynclinaux dans lesquels il masque la manifestation des autres types de plissement. A petite échelle, il se produit également dans des régions isolées et sur les plates-formes où ont lieu des mouvements différentiels locaux, par exemple dans de profondes *Rift valleys*.

Il existe une relation définie entre, d'une part, le lieu et l'époque de développement du plissement général et d'autre part le cours des mouvements oscillatoires. Le plissement commence sur les flancs de blocs qui s'élèvent à l'intérieur de dépressions secondaires et empiète sur une surface qui ne cesse de s'accroître à mesure que s'élèvent les blocs (figure 3).

LES FAILLES

Les failles tectoniques se produisent aux endroits où les contraintes de la roche dépassent sa résistance propre. Elles se développent dans des conditions de tension, de compression ou de cisaillement, par exemple lorsque les couches s'arquent et tendent ainsi à accroître leur superficie. Toute masse soulevée a tendance, d'une façon plus ou moins prononcée, à se fissurer longitudinalement, transversalement ou radialement. Les petits blocs délimités par ces fissures se déplacent vers le haut ou vers le bas, avec développement de failles normales. Sous certaines conditions de compression locale, il y a formation de chevauchements, de décrochements, etc., associés aux plis.

Le comportement des failles peut être étudié au moyen de maquettes et peut s'exprimer en termes de principes physiques. Ces études ont fourni aux tectoniciens soviétiques les bases du développement de la discipline qui s'appelle tectonophysique, c'est-à-dire l'application des méthodes et conceptions physiques aux recherches relatives à la déformation de l'écorce terrestre. Le mécanisme de formation des failles a donné lieu à des études très poussées en Union Soviétique; on a découvert en particulier que beaucoup de caractères intéressants des failles proviennent du fait qu'elles sont produites non par fracture, mais par un fluage visqueux à la suite de déformation plastique.

Les failles profondes présentent un problème spécial qui est encore loin d'être résolu. Il y a des bases permettant de penser qu'au moins certaines parties de l'écorce terrestre sont fracturées par des failles profondes, qui pénètrent jusqu'à l'enveloppe même. Ces failles, qui débutent sous forme de cicatrices atténuées, entrent en jeu dans les mouvements oscillatoires. En outre, il a été suggéré qu'elles possèdent une direction systématique et déterminent l'évolution des géosynclinaux et autres complexes tectoniques. D'après certains savants, leur formation serait en rapport avec les changements de forme de la terre dus au ralentissement de son mouvement de rotation.

Il est certainement remarquable que, par exemple, pratiquement toutes les zones d'activité tectoniques de la région comprise entre le lac Baïkal et la Crimée ont la même orientation Nord-Ouest. Elles comprennent les zones de soulèvement et d'affaissement des massifs du Saïan Oriental et du Saïan Occidental, l'Altaï, le Tian-Chan, le Kazakhstan central, le Kopet-Dag, le Caucase et la Crimée. De plus, la même direction Nord-Ouest se reproduit à la jonction des zones de soulèvement et d'affaissement dans la région non-alpine de l'Europe Occidentale. Ici la formation a eu lieu de façon très nette au Mésozoïque seulement, puisqu'à la fin du Paléozoïque les zones tectoniques avaient une direction tout à fait différente.

Le rôle de telles fractures profondes dans la structure de la terre et leur histoire présente un problème d'intérêt majeur pour de futures études. Ceci touche au problème des mouvements horizontaux de grande amplitude le long des failles verticales profondes.

BIBLIOGRAPHIE

BELOUSSOV, V. V. Общая геотектоника (Géotectonique générale). Moscou. 1948.

Idem. Основные вопросы геотектоники (Problèmes fondamentaux de géotectonique). Moscou. 1954.

Idem. Труд. Геофиз. Инст., No. 17, 144, 1952.

Idem. Советс. геол., No. 1, 1958.

GZOVSKIĬ, M. M. Извест. A.H. CCCP, сер. геофиз., Nos. 5 et 6, 1954.

KOSYGIN, YU. A. Основы тектоники нефтеносных областей (Problèmes de la tectonique des régions pétrolifères). Moscou. 1958.

PEIVE, A. V. Извест. A.H. CCCP, сер. геол., No. 5, 1945.

SORSKIĬ, A. A. Труд. Геофиз. Инст., No. 18, 145, 1952.

TETYAEV, M. M. Основы геотектоники (Problèmes de la géotectonique). Moscou. 1941.

KHANI, V. E. Геотектонические основы поисков нефти (Problèmes géotectoniques de la recherche du pétrole). Moscou. 1957.

Les rapports entre la biochimie de l'œil et ses propriétés optiques

par ANTOINETTE PIRIE

De nombreuses études expérimentales sur la physiologie de la vue traitent des pigments photo-sensibles des cellules des cônes et des bâtonnets de la rétine. Si ceux-ci jouent un rôle essentiel dans la réception de la lumière, d'autres parties de l'œil aussi comme la cornée et le cristallin ont un rôle de même ordre. Par une étude de l'œil d'une part sous un aspect général, d'autre part en se référant à l'adaptation particulière qui se forme chez certains animaux pour renforcer leur vue en lumière faible, cet article traite de quelques aspects de la biochimie et de la physiologie des parties de l'œil transmettant la lumière à la rétine.

Le thème de cet article est le rapport entre la biochimie de l'œil et sa fonction d'organe transmetteur de lumière plutôt que d'organe récepteur de lumière. Les cellules des cônes et des bâtonnets de la rétine, qui renferment les pigments photosensibles et les neurones de la rétine, ainsi que le nerf optique, sont chargées de la réception de la lumière et de la vision, tandis que le reste de l'œil — les parties réfringentes et transparentes comme la cornée, le cristallin et le corps vitré — sont essentielles pour la transmission et la convergence de la lumière sur les cellules photosensibles (figure 1). Ces parties de l'œil doivent être à la fois transparentes et optiquement uniformes: si le foie et le petit doigt grossissent d'un millimètre, la modification n'est pas perceptible, mais une augmentation d'un millimètre de la longueur du globe oculaire de l'adulte entraîne une anomalie de la vision. Une modification de forme d'une partie quelconque de l'œil du fait d'une lésion biochimique ou pathologique peut être désastreuse pour sa fonction. Les chevilles peuvent enfler, et enflent effectivement quand il fait chaud, mais, même si c'est désagréable, on peut encore marcher. Cependant s'il survient une enflure même microscopique de la cornée due à l'arrêt, par manque d'oxygène, de la respiration de ses cellules épithéliales, la vision est déformée et le malaise oculaire est intolérable.

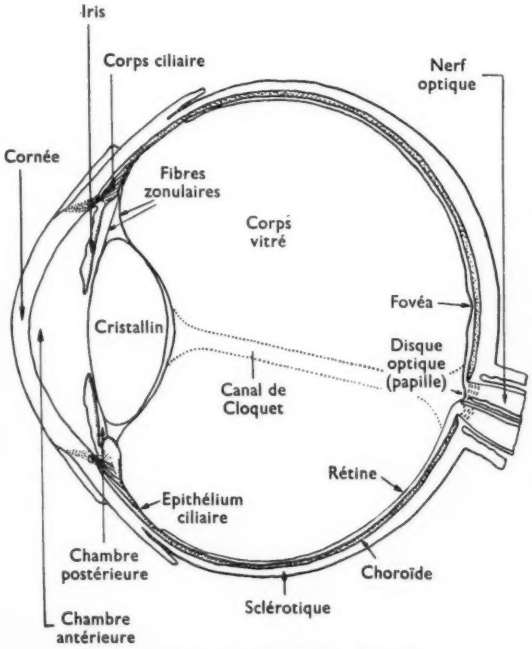


FIGURE 1 – *Coupe d'œil humain.*

Des expériences tout à fait simples montrent que la transparence et les propriétés optiques de la cornée et du cristallin dépendent de leur métabolisme. Une certaine série de ces expériences a permis d'étudier les difficultés visuelles produites par les lentilles de contact.

La cornée, qui est la zone circulaire transparente du revêtement externe du globe oculaire, est constituée par trois parties: l'épithélium formé de plusieurs couches de cellules cubiques; le stroma qui est formé de fibres collagènes entremêlées, avec quelques cellules dans les interstices (figure 4), et une seule couche de cellules endothéliales sur la surface interne. Or, les gens qui portent des lentilles de contact trouvent qu'après quelques heures, leurs yeux commencent à s'irriter et qu'ils ne voient plus clairement. La vision est brouillée et déformée, et toute chose violemment éclairée semble être entourée d'un halo. L'enlèvement des lentilles de contact rétablit la vision normale. L'examen de l'œil en état d'irritation, montre que certaines des cellules cornéennes sont

enflées et ce sont ces cellules enflées qui produisent le flou et la déformation par réfraction irrégulière des rayons lumineux.

G. K. Smelser [1–3] a étudié le problème sur des cobayes et sur lui-même. Il adapta des lentilles de contact aux cobayes et contrôla ensuite leur cornée à la fois sur l'animal vivant et par examen histologique; il constata que le fait de porter une lentille produisait une enflure de l'épithélium avec accumulation de liquide entre les fibres collagènes du stroma. Les granules de glycogène de l'épithélium disparurent et la teneur en acide lactique s'éleva tendant à passer d'un métabolisme oxydant à un métabolisme anaérobie. C'est pourquoi Smelser adapta des lentilles de contact sous lesquelles il pouvait emprisonner une bulle d'oxygène ou une bulle d'azote et étudia ensuite l'état de la cornée après qu'elles eurent été portées pendant quelques heures. L'oxygène maintint la cornée en son état normal, tandis que l'azote n'empêcha pas l'enflure. Ce fait donnait une preuve directe que la respiration des cellules cornéennes est indispensable pour maintenir la fonction visuelle. Les cellules cornéennes sont normalement couvertes d'une pellicule de larmes à travers laquelle l'oxygène de l'air se répand dans les cellules. L'utilisation de lentilles de contact percées d'un ou deux petits trous près du bord, permet l'entrée et la sortie du liquide lacrymal grâce aux petits mouvements de la lentille sur l'œil; les cellules épithéliales peuvent ainsi recevoir suffisamment d'oxygène et de glucose pour maintenir à la fois leur respiration et leur forme normale et partant leur fonction visuelle.

Ces expériences étaient faites sur l'animal *in vivo*. D'autres expériences *in vitro* où furent utilisées des yeux ou des cornées excisés montrèrent la même dépendance de la normalité à l'égard du métabolisme. La cornée enflera si elle est refroidie ou si, à température normale, elle est privée d'oxygène ou de glucose, mais cette tumescence peut être inversée si la cornée est réchauffée et oxygénée en présence de glucose [4]. Malheureusement, les processus mis en jeu sont inconnus.

Des expériences très voisines ont montré que le métabolisme oxydant du cristallin est nécessaire pour que celui-ci reste optiquement transparent et non-enflé. Le cristallin, enrobé dans sa capsule, suspendu par les fibres zonulaires en rayons, se développe au cours de la vie en ajoutant de nouvelles fibres aux bords externes et, de ce fait, pousse les vieilles fibres vers le centre (figure 2). Sa fonction est de concentrer la lumière sur la rétine et, pour ce faire, il doit maintenir sa clarté et son élasticité pendant toute la vie. Les processus métaboliques se produisant dans le cristallin y sont indispensables. Non seulement le cristallin doit, comme la cornée, acquérir de l'eau et du sodium et perdre du potassium lorsqu'il est refroidi, ou lorsqu'il manque d'oxygène ou de glucose, ou encore lorsqu'il est exposé à des poisons métaboliques tels que l'acide iodo-acétique ou le cyanure [5], mais, lorsque son métabolisme est perturbé au cours de la vie, il devient cataracteux. Aspergez une souris et son cristallin devient opaque. Trempez l'œil excisé d'un veau ou d'un jeune lapin et il se produira le même phénomène. Privez un rat d'oxygène et il apparaîtra une cataracte bilatérale. De telles opacités du cristallin sont réversibles et disparaissent quand l'animal est réchauffé ou que l'approvisionnement en oxygène est rétabli; mais la plupart des opacités du cristallin sont irréversibles et peuvent entraîner la cécité presque totale.

La plupart de l'énergie métabolique du cristallin est fournie par le glucose de l'humeur aqueuse [6]. Ce liquide, formé par le corps ciliaire, circule sur le cristallin et quitte la chambre antérieure à la fois par écoulement dans le canal de Schlemm qui fait communiquer l'humeur aqueuse avec les veines et aussi par diffusion dans l'iris et la cornée. Le glucose atteint le cristallin par l'écoulement de ce fluide et la majeure partie du glucose est décomposée dans les fibres du cristallin pour former de l'acide lactique qui ensuite se répand. Comme on pourrait s'y attendre, une perturbation dans le métabolisme du glucose est associée à l'apparition de la cataracte.

La cataracte d'origine diabétique est connue chez l'homme et peut être déclenchée expérimentalement sur l'animal soit par excision du pancréas, soit par injection d'alloxane ou acide déshydroascorbique, provoquant le diabète permanent. La cataracte peut aussi être expérimentalement induite dans un certain laps de temps, en

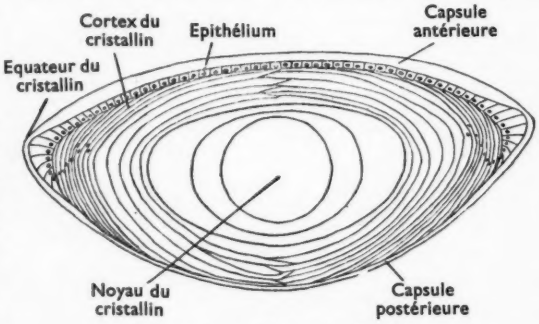


FIGURE 2 – *Coupe de cristallin.*

FIGURE 3 – *Cataracte causée par le galactose chez le rat.*

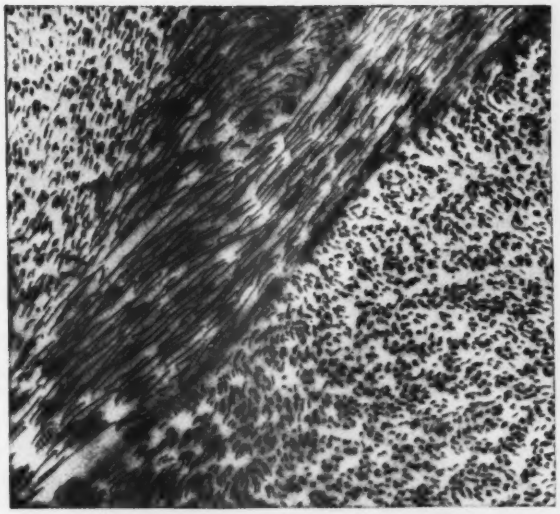


FIGURE 4 (*à droite*) – *Microphotographie électronique des faisceaux entrecroisés de fibres de collagène dans la cornée* [22]. (× 7 150)

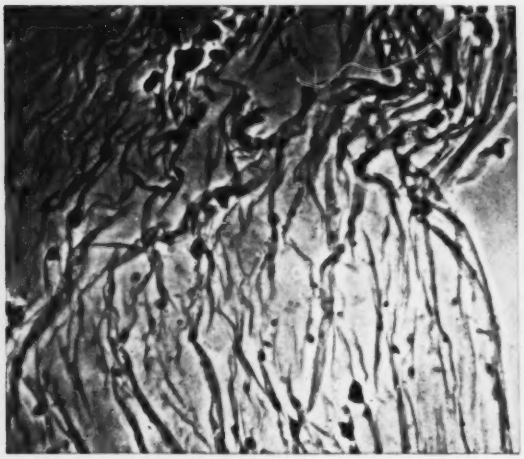


FIGURE 5 – *Membrane hyaline du corps vitré de bœuf* (*contraste de phase*, × 700)

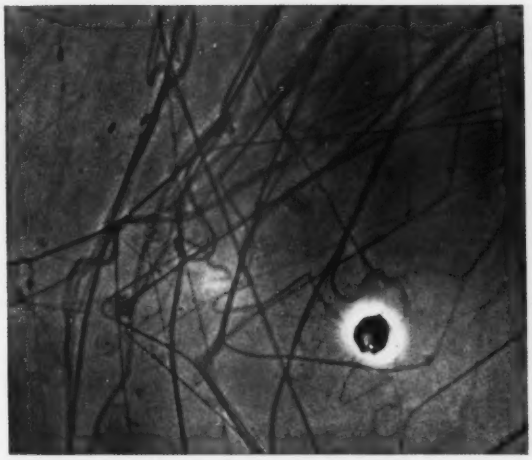


FIGURE 6 – *Fibres rudes de corps vitré du lapin* (*contraste de phase*, × 700)

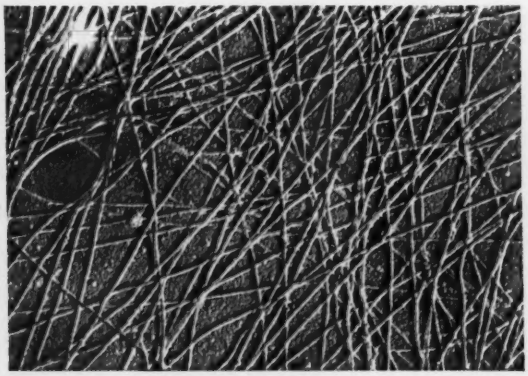


FIGURE 7 – *Microphotographie électronique des fines fibres de collagène dans le corps vitré du bœuf* [17]. (× 31 000)

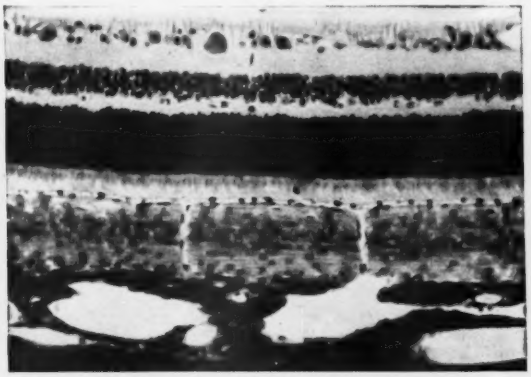


FIGURE 8 – *Coupe de rétine de chat montrant les cellules plates de la membrane réfléchissante.* (× 130)

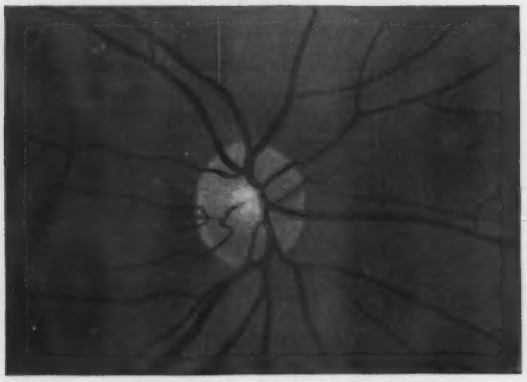


FIGURE 9 – *La rétine humaine examinée à l'ophtalmoscope.*

FIGURE 10 – *Rétine de chat examinée à l'ophtalmoscope et montrant la membrane réfléchissante.*

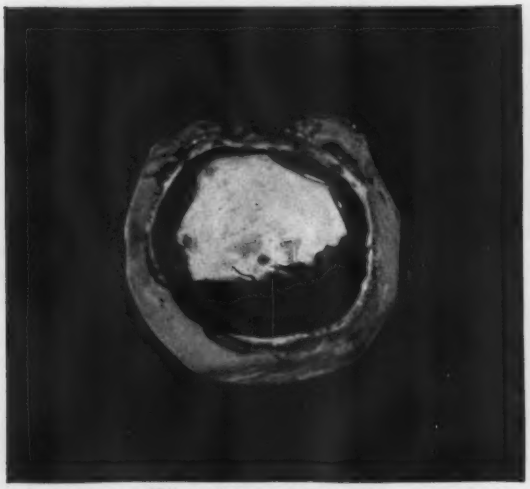


FIGURE 11 – *Œil de chat ouvert pour montrer la membrane réfléchissante.*

FIGURE 12 – *Cristaux de guanine dans la choroïde du chien de mer, examinés en lumière polarisée.*

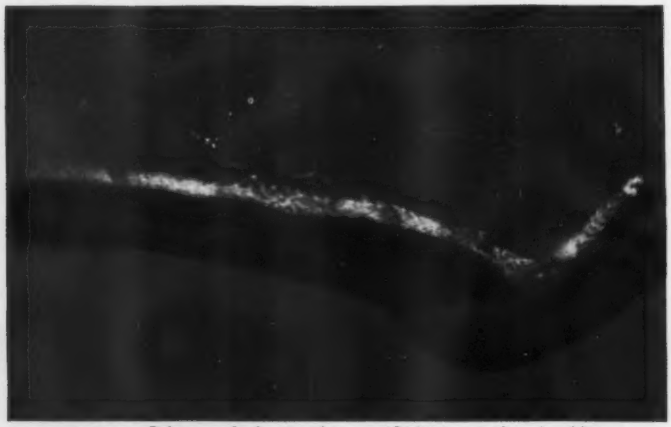


FIGURE 13 – *Cristaux de la membrane réfléchissante chez le chien; coupe examinée en lumière polarisée.*

FIGURE 14 – *Œil de bœuf ouvert pour montrer la rétine et la membrane réfléchissante.*

FIGURE 15 – *Œil de bœuf ouvert avec rétine excisée.*

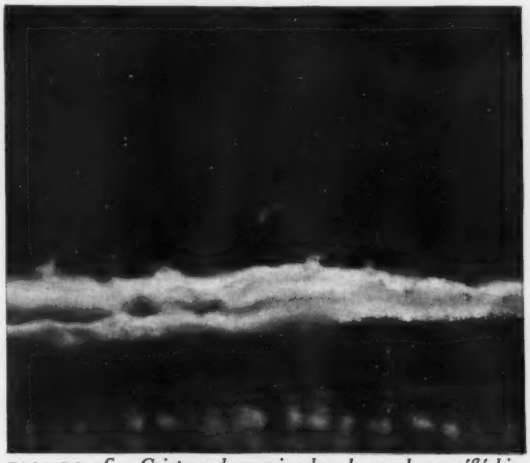


FIGURE 16 – *Cristaux de guanine dans la membrane réfléchissante d'une rétine d'alligator* (Alligator Mississippiensis).

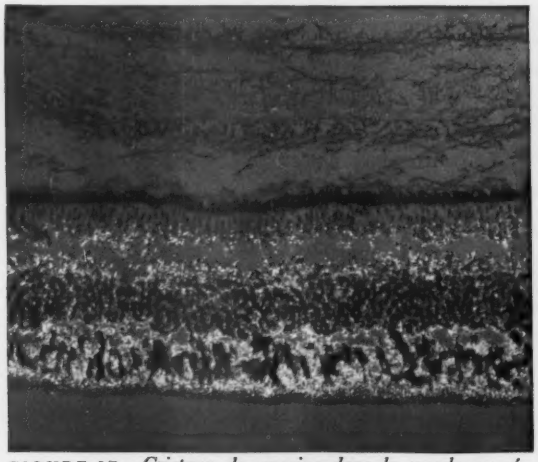


FIGURE 17 – *Cristaux de guanine dans la membrane réfléchissante d'une rétine de bréme* (Abramis brama).

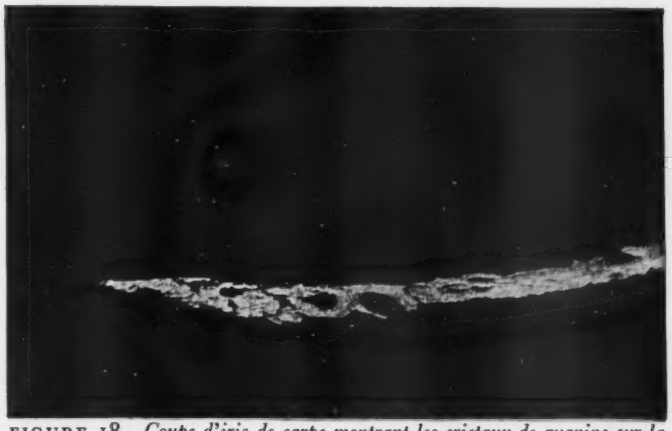


FIGURE 18 – *Coupe d'iris de carpe montrant les cristaux de guanine sur la surface antérieure; coupe examinée en lumière polarisée.*

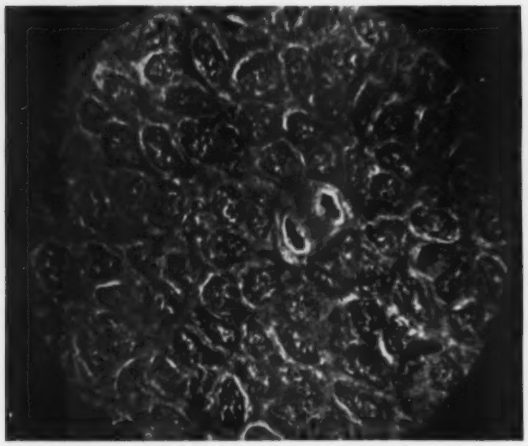


FIGURE 19 – *Epithélium de cristallin normal montrant une mitose normale.*

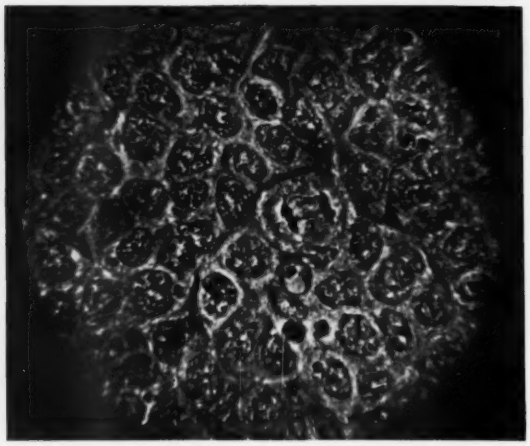


FIGURE 20 – *Epithélium de cristallin irradié 14 jours auparavant. Une mitose anormale et plusieurs cellules fragmentées.*

nourrissant de jeunes rats avec des quantités excessives de sucres tels que le galactose ou le xylose (figure 3); l'étude des modifications biochimiques dans de telles cataractes expérimentales illustre la corrélation qui existe entre métabolisme normal et fonctionnement normal du cristallin.

Considérons d'abord le cas des bébés. Certains ont une malformation innée qui les empêche de transformer la portion galactose du lactose dans le lait. Leur croissance est défectueuse et ils font de la cataracte. Le galactose qu'ils ne peuvent métaboliser s'accumule dans le sang et est éliminé dans l'urine. Cette anomalie innée se nomme galactosémie. Il est possible de situer la rupture dans la chaîne métabolique du galactose et de montrer son rapport avec la biochimie de l'œil.

Les premiers stades du métabolisme du galactose sont considérés être comme suit:

$$\text{ATP} + \text{galactose} \rightarrow \text{galactose-1-phosphate} + \text{ADP}$$

$$\text{galactose-1-phosphate} + \text{UDPG} \rightleftharpoons \text{glucose-1-phosphate} + \text{UDP gal.}$$

$$\text{UDP gal} \rightleftharpoons \text{UDPG}^{1}$$

Il y a accumulation de galactose-1-phosphate dans les globules rouges des nourrissons atteints de galactosémie [7] et les globules rouges hémolysés de ces nourrissons ne sont pas capables de produire UDP gal à partir de UDPG et de galactose-1-phosphate [8]. C'est pourquoi la galactosémie semble être due à une carence congénitale de l'enzyme catalysant cette réaction. Cette diastase se trouve à l'état normal dans les tissus, y compris probablement le cristallin, puisque le galactose se désintègre *in vitro*, en présence de cristallin de bétail [9], pour donner de l'acide lactique.

L'étude du métabolisme du galactose dans le cristallin de rat nourri au galactose a montré que le cristallin normal ne renferme que des traces de galactose et de galactose-1-phosphate. Ceci est vrai encore pour le cristallin de rat nourri au galactose avant que se développe l'opacité, mais lorsque le cristallin est atteint de cataracte, il y a accumulation de galactose-1-phosphate dans la capsule du cristallin et dans l'épithélium [10].

Il y a de multiples autres moyens d'induire expérimentalement sur l'animal l'opacité de la cornée et les études sur le métabolisme de telles cornées partiellement ou totalement opaques ont montré que la perte de triphosphate d'adénosine, de glutathion et enfin de protéine soluble est un phénomène courant. Mais il est très difficile de savoir ce qui déclenche de telles modifications dégénérescentes. Dans un essai pour élucider ce point, nous avons étudié l'évolution d'une cataracte causée par les rayons X sur le lapin, en exposant un œil au faisceau de rayons X et en utilisant le cristallin de l'autre œil comme témoin normal [11–13]. Aucune modification n'est cliniquement visible dans le cristallin pendant un laps de temps prolongé après l'irradiation. Après notre dose standard de 1 400 r, le cristallin d'un lapin âgé de six mois paraît cliniquement normal pendant plusieurs mois et ce, quoiqu'il deviendra presque sûrement complètement opaque dans les huit à douze mois qui

[1] ATP = triphosphate d'adénosine
ADP = diphosphate d'adénosine
UDPG = uridinediphosphoglucose
UDP gal = uridinediphosphogalactose

suivront l'irradiation. Chez un lapin plus jeune, ce processus se développe beaucoup plus rapidement; chez un lapin plus âgé, l'opacité totale peut ne jamais se produire.

Pendant que ces transformations cliniques se produisent, il est facile de constater les modifications dans les constituants et dans l'activité des enzymes en comparant le cristallin irradié avec le cristallin normal de l'autre œil. De cette manière, nous pouvons montrer qu'il y a une diminution progressive du glutathion, de la réductase du glutathion et des enzymes qui font la synthèse du glutathion à partir des acides aminés dont celui-ci est constitué. La première modification que nous ayons trouvée est une diminution du glutathion et nous l'avons utilisée comme «mesure-étalon» pour évaluer les autres changements. Il y a une chute de l'activité de la déshydrogénase du phosphate de l'aldéhyde glycérique, de l'oxydase de l'aldéhyde et de la glyoxalase, les protéines élaborent plus lentement leur synthèse et finalement, il y a une véritable décomposition des protéines du cristallin. Comme avec d'autres formes de cataracte, il y a perte de phosphates à énergie élevée tel que le triphosphate d'adénosine. D'un autre côté, certaines enzymes ne sont pratiquement pas modifiées. L'hexokinase, qui catalyse la phosphorylation du glucose, l'aldolase qui transforme le diphosphate d'hexase en phosphates de triose, et la déshydrogénase de l'acide lactique qui sont toutes des enzymes impliquées dans la glycolyse, ainsi que les enzymes oxydantes comme la déshydrogénase *iso*-citrique, l'enzyme malique, et la réductase du cytochrome sont encore actives dans le cristallin opaque ou ne perdent leur activité qu'à un stade très tardif.

Mais il faut un certain temps après l'irradiation pour que ces changements dans les constituants et les enzymes soient décelables. Des jours, des semaines ou même des mois, selon l'âge du lapin et la dose de rayons, peuvent s'écouler avant qu'on puisse déceler la diminution du glutathion ou la perte de phosphate à haute énergie. Ce retard dans le déclenchement des modifications fait supposer que ces changements ne sont que secondaires et que la radiation fait quelque chose que nous n'avons pas encore pu découvrir. Afin d'essayer d'analyser ceci, nous avons commencé une étude histologique du cristallin.

On sait que la radiation détruit plus aisément les cellules capables de se diviser que les autres. Dans le cristallin, les cellules se divisant sont concentrées dans un anneau juste antérieur à l'équateur et on peut prouver que si un faisceau de rayons X est dirigé au travers du centre du cristallin, n'atteignant donc pas les cellules capables de se diviser, il ne s'ensuivra aucune espèce d'opacité; mais si le centre est masqué et que la périphérie totale du cristallin soit irradiée, il en résultera une cataracte totale [14]. Ainsi, la radiation ne détériore que ces seules cellules de la périphérie, probablement par analogie avec d'autres tissus, les cellules épithéliales capables de se diviser. Celles-ci constituent une extrêmement petite proportion de la masse totale du cristallin mais sont toutefois d'importance primordiale pour son fonctionnement (figures 19 et 20).

LE CORPS VITRÉ

Allons maintenant plus profondément dans l'œil et étudions le corps vitré, dernière étape dans la voie du rayon lumineux vers la rétine. Cette gelée remplit l'espace entre la rétine et le cristallin. En 1896, Mörner a démontré que le corps vitré de la vache renfermait du collagène (principale protéine fibreuse de la peau) mais cette découverte fut oubliée et pendant longtemps on enseignait que le corps vitré n'avait pas de structure. Maintenant nous avons «bouclé la boucle» et trouvons qu'il contient une multitude embarrassante de structures diverses, fibreuses et membraneuses, dont quelques-unes ressemblent au collagène et les autres pas (cf. figures 5–7) [15–17].

Par filtration ou centrifugation, le corps vitré peut être aisément scindé en deux parties, l'humeur vitreuse soluble et le résidu fibreux insoluble. Le résidu fibreux du corps vitré est complexe — la partie principale est formée d'une structure en réseau de fibrilles de collagène très fines (figure 7) entourées d'une membrane hyaline (figure 5). Tout l'ensemble est amarré à la rétine par des fibres plus rudes qui jaillissent de la zone rétinienne située juste derrière le cristallin (figure 6). L'humeur vitrée, visqueuse du fait de la présence d'un mucopolysaccharide, l'acide hyaluronique, imprègne toute la masse.

Comment peut-on apparenter cette structure au comportement du corps vitré au cours de la vie? Deux troubles oculaires qui affectent la vue et sont directement ou indirectement liés à la structure vitrée sont la liquéfaction partielle du corps vitré avec formation d'opacités et le décollement de la rétine.

Lorsque vous regardez un mur blanc ou un ciel limpide, vous voyez flotter des points ou des filaments gris ou noirs qui, si votre œil est immobile, se déplacent doucement dans votre champ visuel. Ces «papillons», comme on les nomme, se

trouvent dans les yeux de la plupart des individus et sont de petits fragments de fibre dans le corps vitré. Ils se déplacent, parce que le corps vitré n'est pas rigide; et ils se déplacent lentement et seulement sur de petites distances parce que le corps vitré est une gelée visqueuse.

Ces petits nœuds et vestiges sont normaux mais si le réseau fibreux du corps vitré se désorganise, soit par sa propre liquéfaction partielle, soit par dépolymérisation de l'acide hyaluronique, il se produit des opacités graves.

Le décollement de la rétine est une menace encore plus dangereuse. Dans ce cas, une partie de la rétine se détache ou se déchire et devient par conséquent inutile en tant que mécanisme récepteur de la lumière. Je pense qu'on envisage généralement qu'au moins quelques-uns des types de déchirures et de décollement de la rétine sont la conséquence d'une traction des fibrilles vitrées sur la rétine. La rétine est très solidement fixée au corps vitré à la base près du corps ciliaire et c'est là que se produit le plus souvent la dégénérescence et le décollement rétiniens.

On peut affirmer que dans les deux cas, opacités vitreuses et décollement de la rétine, la digestion des fibres du corps vitré par une injection d'enzyme pourrait être salutaire. Malheureusement, la collagénase qui certainement liquéfierait le corps vitré *in vitro* et *in vivo*, dissoudrait aussi le collagène dans les vaisseaux sanguins de la rétine et une injection de collagénase dans le corps vitré pourrait produire des hémorragies rétiniennes. De plus, quoique la collagénase liquéfie l'essentiel du corps vitré, elle ne digère pas les fibres qui le fixent très solidement sur le bord antérieur de la rétine. Ces fibres (figure 6) ne sont pas des fibres de collagène. On ne sait pas à quelle classe de protéine fibreuse elles appartiennent ou si elles sont uniques de leur espèce. Il serait possible, si nous pouvions digérer ces fibres, qui sont sensibles à la trypsine, que nous puissions modifier un décollement de la rétine, mais tant que nous n'en saurons pas bien davantage quant à leur nature chimique, nous ne pourrons essayer de les modifier *in vivo*. Mais, dans l'ensemble, le corps vitré se comporte admirablement: contenant 99% d'eau, il est presque optiquement limpide, mais toutefois suffisamment rigide pour garder au globe oculaire sa configuration et tenir la rétine en place; son chimisme est adapté à sa fonction.

Naturellement, en écrivant sur l'œil en général, j'ai dû simplifier considérablement parce que, en fait, il n'y a pas d'œil standard [18]. Les yeux des différents membres d'une même espèce diffèrent par leurs détails et il y a des différences frappantes entre les yeux des chats, des taureaux, des poissons. Tous diffèrent l'un de l'autre et par leur structure et par l'accomplissement de leur fonction. La considération de la structure nous entraîne à une biochimie très particulière et à démontrer les saisissantes différences qui existent entre les yeux des différents animaux. Je ne peux faire mieux que de décrire les adaptations chimiques qui sont le fondement des «miroirs» de l'œil.

LES ADAPTATIONS DE LA CHOROÏDE ET DE LA RÉTINE POUR CONSTITUER UNE SURFACE RÉFLÉCHISSANTE

Lorsqu'on est dehors la nuit avec une torche ou dans une voiture, l'on voit souvent les yeux rayonnants d'un chat ou d'un chien qui réfléchissent la lumière. De nombreux mammifères et poissons réfléchissent la lumière de cette manière. En général, les yeux d'oiseaux n'ont pas cette propriété, les yeux humains non plus. Dans nos yeux, la rétine est adossée à une choroïde uniformément noire qui absorbe simplement toute la lumière qui l'atteint. La lumière réfléchie par la rétine humaine est rougeâtre et provient de la rétine elle-même et de ses vaisseaux sanguins (figure 9). Mais de nombreux animaux (figures 11, 14, 15) ont une zone spéciale de la choroïde ou de la rétine, nommée *tapetum lucidum*, qui agit comme un miroir et renvoie la lumière qui lui arrive au travers des cellules rétiniennes qui la recouvrent [18]. Evidemment cette membrane n'augmente pas l'acuité visuelle, mais peut être utile pour élever la sensibilité à l'égard d'une faible lumière puisque toute lumière non absorbée à son premier passage au travers de la rétine pourrait stimuler les cellules photosensibles au retour après réflexion dans le miroir.

Cette couche réfléchissante chez le chien ou le chat est une zone triangulaire dans la moitié supérieure de l'œil qui, examinée *in vivo* (figure 10) ou sur l'œil excisé (figure 11) apparaît comme une zone scintillante bleu-vert. Sur coupe, on peut constater au microscope que les cellules épithéliales pigmentées de la rétine ne contiennent pas de pigment dans cette zone réfléchissante et sont adossées à plusieurs couches de larges cellules plates dans la choroïde (figure 8). Ces cellules sont remplies de cristaux (figure 13). Récemment, il a été prouvé que la substance cristallisée déposée dans le *tapetum lucidum* des carnivores comme le chien, le chat, le phoque et le renard est un complexe de zinc et d'un acide aminé renfermant du soufre, la cystéine [19]. Les cellules du *tapetum*

lucidum de renard argenté renferment 16% de leur poids sec en zinc et 8 à 9% en soufre.

Que cette zone réfléchissante soit essentielle pour la fonction de la vue est suggéré par le fait que si on injecte à un chien un agent chélateur métallique comme la dithizone, la brillance de l'œil disparaît, l'animal devient aveugle quand le *tapetum lucidum* dégénère et la rétine se décolle. La dithizone est fréquemment employée pour produire le diabète car elle entraîne une dégénérescence des îlots pancréatiques, due probablement encore au déplacement du zinc, mais la dose nécessaire pour produire des modifications visuelles chez le chien est plus faible que la dose qui déclenche le diabète. Après déplacement du complexe zinc-cystéine, il ne semble pas que l'œil puisse guérir [20].

De nombreux poissons, amphibies et reptiles ont aussi un dépôt de corps cristallisé, non seulement dans leur choroïde mais aussi dans leur iris (figures 16–18), qui là encore joue le rôle de réflecteur. Ces cristaux sont faits de guanine qui est en même temps la substance qui confère aux écailles de poisson leur aspect argenté; ce corps est en effet connu sous le nom de «argent de poisson». Chez le chien de mer, *Squalus acanthias*, les cristaux de guanine sont très larges et disposés de manière régulière, apparemment sous un angle de 45° par rapport aux cellules visuelles (figure 12). En lumière faible, ils sont à découvert, mais en lumière brillante, ils se recouvrent d'un pigment qui se déplace d'après la lumière, augmentant ainsi la gamme des intensités lumineuses auxquelles réagit l'œil.

Les herbivores, le bétail notamment, ont modifié plutôt différemment leur choroïde, mais aussi pour en faire un miroir. Chez ces animaux, la couche réfléchissante de la choroïde est constituée par de fines fibres parallèles qui agissent en réseau de diffraction et réfléchissent la lumière colorée de la même manière que les ailes de quelques papillons. La choroïde renferme une concentration élevée de baryum, métal qui est pratiquement absent de toutes les autres parties du corps [21].

Le mécanisme fondamental de la vision repose sur la sensibilité lumineuse des pigments des cônes et des bâtonnets de la rétine. Ajoutons à cela qu'il y a interaction œil-cerveau pour que l'image reçue sur la rétine puisse être interprétée. Optiquement, l'œil des oiseaux est, en de multiples points, supérieur à l'œil humain, mais on ne peut mettre en doute que la gamme d'expérience visuelle de l'oiseau soit inférieure à celle de l'homme du fait de la simplicité relative du cerveau aviaire.

REMERCIEMENTS

Je prie les photographes qui ont eu l'amabilité de m'aider d'accepter mes remerciements. Mrs. M. Overall du *Nuffield Laboratory of Ophthalmology* pour les diagrammes de l'œil; Mr. Allen de l'*Oxford Eye Hospital* pour ses clichés sur le fond de l'œil de l'homme et du chat; Mr. Blackwell du *Department of Human Anatomy* qui s'est donné infiniment de peine pour faire toutes les photographies en couleur ainsi que quelques-unes en noir et blanc. Le Dr. N. Ashton m'a très aimablement communiqué la photographie de la coupe de rétine de chat.

RÉFÉRENCES

[1] SMELSER, G. K. *Arch. Ophthal., Chicago*, **47**, 328, 1952.
[2] SMELSER, G. K. et OZANICS, V. *Ibid.*, **49**, 335, 1953.
[3] SMELSER, G. K. et CHEN, D. K. *Ibid.*, **53**, 676, 1955.
[4] DAVSON, H. *Biochem. J.*, **59**, 24, 1955.
[5] HARRIS, J. E., HAUSCHILDT, J. D. et NORDQUIST, L. T. *Amer. J. Ophthal.*, **38**, 141, 148, 1954; **39**, 161, 1955.
[6] PIRIE, A. et VAN HEYNINGEN, R. «The Biochemistry of the Eye». Blackwell Scientific Publications, Oxford. 1956.
[7] SCHWARZ, V., GOLBERG, L., KOMROWER, G. M. et HOLZEL, A. *Biochem. J.*, **59**, XXII, 1955.
[8] KALCKAR, H. M., ANDERSON, E. P. et ISSELBACHER, K. J. *Biochim. Biophys. Acta*, **20**, 262, 1956.
[9] VAN HEYNINGEN, R. (Voir [6].)
[10] SCHWARZ, V. et GOLBERG, L. *Biochim. Biophys. Acta*, **18**, 310, 1955.
[11] PIRIE, A., VAN HEYNINGEN, R. et BOAG, J. W. *Biochem, J.*, **54**, 682, 1953.
[12] VAN HEYNINGEN, R., PIRIE, A. et BOAG, J. W. *Ibid.*, **56**, 372, 1954.
[13] PIRIE, A., VAN HEYNINGEN, R. et FLANDERS, P. H. *Ibid.*, **61**, 341, 1955.
[14] PIRIE, A. et FLANDERS, P. H. *Arch. Ophthal., Chicago*, **57**, 849, 1957.
[15] PIRIE, A., SCHMIDT, G. et WATERS, J. W. *Brit. J. Ophthal.*, **32**, 321, 1948.
[16] BEMBRIDGE, B. A., CRAWFORD, G. N. C. et PIRIE, A. *Ibid.*, **36**, 131, 1952.
[17] MATOLTSY, A. G. *J. gen. Physiol.*, **36**, 29, 1952.
[18] WALLS, G. L. «The Vertebrate Eye». Cranbrook Institute of Science Bulletin No. 19, 1942.
[19] WEITZEL, G., BUDDECKE, E., FRETZDORFF, A. M., STRECKER, F. J. et ROESTER, U. *Hoppe-Seyl. Z.*, **299**, 193, 1955.
[20] WEITZEL, G., STRECKER, F. J., ROESTER, U., BUDDECKE, E. et FRETZDORFF, A. M. *Ibid.*, **296**, 19, 1954.
[21] SOWDEN, E. et PIRIE, A. (Inédit.)
[22] JAKUS, M. A. *Amer. J. Ophthal.*, **38**, 40, 1954.

Quelques progrès récents en biologie moléculaire

par M. F. PERUTZ

La biologie moléculaire cherche à expliquer les fonctions biologiques en termes de structure moléculaire. On a récemment fait de grands pas dans ce domaine et on admet maintenant très généralement que l'on pourra, d'ici une vingtaine d'années, arriver à comprendre en termes moléculaires les formes les plus simples de la vie. Les problèmes-clés sont la structure des acides nucléiques dont dépendent la copie génétique et la synthèse des protéines, et la structure des catalyseurs protéiques qui régissent l'activité métabolique. L'article décrit le premier modèle tri-dimensionnel d'une molécule protéique obtenu par analyse aux rayons X et des essais de modèles de petits virus. Il montre aussi comment les mutations génétiques agissent en modifiant la constitution des molécules protéiques.

GÈNES ET ENZYMES

La variété déconcertante des formes vivantes dissimule une unité sous-jacente des molécules que la nature utilise dans les phénomènes de reproduction, de multiplication, de croissance, de mouvement, de métabolisme, de sécrétion et de réponse nerveuse. Les mêmes types de molécules enzymatiques catalysent les mêmes réactions dans les organismes unicellulaires et les mammifères; la glycolyse et la photosynthèse emploient les mêmes co-facteurs; la biosynthèse des composés organiques complexes que l'on trouve dans les organismes vivants utilise les mêmes molécules simples, qui sont en petit nombre. Presque tous les phénomènes métaboliques sont catalysés par des enzymes, et toutes ces enzymes sont des molécules protéiques. En professant cette opinion, il y a vingt-cinq ans, Sir Frederick Gowland Hopkins a créé le climat scientifique dans lequel ont commencé nos recherches sur la structure chimique et l'architecture spatiale des protéines.

Dans les années récentes, les biochimistes ont commencé à aller plus profondément, en se demandant ce qui dirige la synthèse des protéines. Ce ne peut être d'autres enzymes, puisqu'elles devraient avoir été fabriquées elles-mêmes par d'autres enzymes et ainsi de suite, jusqu'à l'infini. Nous savons maintenant que la synthèse des enzymes est contrôlée par des gènes et nous avons de bonnes raisons de croire qu'un gène donné contrôle la synthèse d'une enzyme donnée. Le gène doit donc posséder une double fonction: il doit pouvoir fournir une copie de lui-même et déterminer la structure spécifique d'une molécule protéique. Ceci pose la question de la nature chimique des gènes.

La plus simple hypothèse serait, à première vue, de supposer que les enzymes sont des molécules douées d'auto-reproduction et, en plus, des catalyseurs fonctionnels. Cependant, les récentes recherches sur les virus et les facteurs transformants des bactéries nous ont apporté des preuves convaincantes que la partie essentielle d'un gène est constituée non d'une protéine, mais d'un acide nucléique. Celui-ci peut se présenter sous deux formes différentes: acide désoxyribonucléique (ADN), dans les organismes cellulaires et les gros virus, ou acide ribonucléique (ARN), dans certains petits virus. L'auto-reproduction et l'activité métabolique paraissent donc dépendre principalement de la structure et de l'interaction de deux types de très grosses molécules: les acides nucléiques et les protéines. Le rôle des lipides et des polysaccharides n'apparaît pas encore clairement et, jusqu'à présent, semble être secondaire.

Les questions primordiales que les biologistes se sont longtemps posées sont donc celles-ci: Quelle est la structure du matériel génétique? Comment assure-t-il sa propre réplique? Comment contrôle-t-il la synthèse des enzymes? Quelle est la structure de ces enzymes et comment se détermine leur fonction catalytique?

STRUCTURE ET MÉCANISME DE COPIE DU MATÉRIEL GÉNÉTIQUE

Nous sommes habitués à nous représenter les enzymes comme des molécules, mais l'idée que le gène est une molécule à structure stéréochimique définie est relativement nouvelle. Nous considérons les gènes d'une manière abstraite, comme des facteurs-unités d'hérédité, disposés en ordre linéaire le long des chromosomes, ou encore le

mot «gène» évoque à nos yeux la structure en bandes que nous pouvons voir dans les chromosomes géants de la Mouche du Vinaigre. Chimiquement les chromosomes sont constitués d'ADN et de protéines; l'ARN existe à certains stades du cycle mitotique, mais, puisqu'il est absent dans le sperme, on peut l'exclure sans crainte, en tant que porteur primaire de l'information héréditaire dans les organismes supérieurs. L'idée que c'est l'ADN seul qui porte l'information génétique a acquis de la force avec la découverte par Avery du facteur transformant des bactéries et elle est maintenant très largement acceptée, depuis que Hershey et Chase ont démontré que l'ADN est le principal constituant infectieux et le porteur de l'information génétique dans les virus de bactéries.

On peut rétorquer que l'appareil héréditaire des organismes supérieurs n'est pas nécessairement le même que celui des microorganismes. Ceci est exact, et, à la vérité, nous ne possédons encore aucune preuve directe du rôle joué par l'acide nucléique dans les chromosomes des animaux supérieurs, mais la constance de la quantité d'ADN et de sa composition dans toutes les cellules d'une espèce donnée, son inertie métabolique et une quantité d'autres arguments indirects nous font croire que l'ADN est, en fait, le seul porteur de l'information génétique dans tous les organismes, sauf les petits virus où sa place est prise par l'ARN. Une autre objection est que la découverte éventuelle d'une classe de composés entièrement nouvelle, pourrait révolutionner nos idées en cette matière, mais il n'existe actuellement aucune base expérimentale pour appuyer une telle hypothèse.

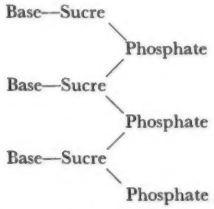


FIGURE 1 – *Structure chimique de l'ADN. Le composé formé d'une molécule de phosphate, une de sucre et une base est appelé nucléotide.*

Si les acides nucléiques ont à transmettre l'information génétique ils doivent constituer un code chimique. Ce sont des polymères à longues chaînes dans lesquelles un motif chimique identique qui se répète à intervalles réguliers forme les maillons de la chaîne (figure 1). Une base purique ou pyrimidique est attachée à chaque maillon. Dans tout acide nucléique ces bases sont de quatre types différents. Nous ne savons pas encore dans quel ordre de succession les bases sont disposées dans chaque acide nucléique et aucune information directe ne nous permet d'affirmer qu'elles soient disposées dans un ordre défini; nous savons seulement que leurs proportions sont caractéristiques et constantes dans l'ADN d'une espèce donnée. Le fait que les bases soient les seuls constituants variables nous fait croire qu'elles sont disposées dans un ordre défini et que cet ordre constitue le code génétique. S'il en est ainsi, le langage génétique est écrit dans un alphabet à quatre lettres sur un rouleau extrêmement long. La longueur de ce rouleau est d'environ 0,003 mm dans un petit virus végétal, 0,1 mm dans le bactériophage T2 et 1000 mm chez un mammifère, c'est-à-dire plus importante que la longueur totale de la cellule qui le contient. Le nombre de nucléotides, jouant le rôle de lettres, auquel ces longueurs correspondent sont respectivement 8 000, 500 000 et 3 000 millions, le dernier étant équivalent à une grande bibliothèque d'information.

A chaque division d'une cellule mère il s'effectue une copie exacte de l'information génétique en vue d'assurer la continuité de l'hérédité dans les cellules filles. Nous ne savons pas encore comment

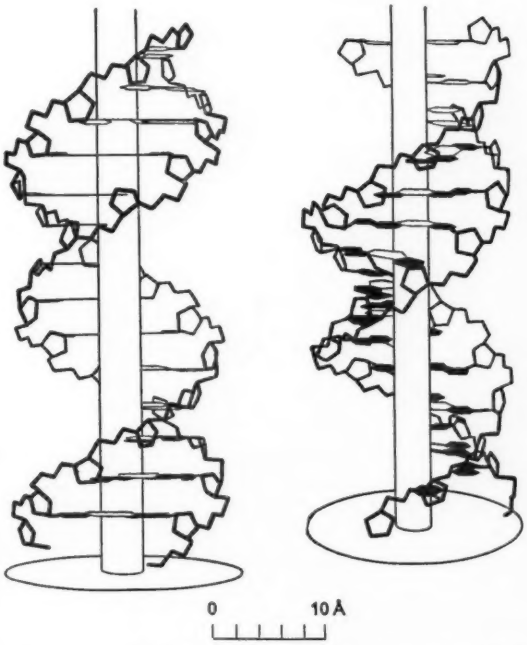


FIGURE 2 – *Double hélice de l'ADN. Les spires et les maillons représentent la chaîne d'esters phosphoriques. Les plaques situées entre les chaînes représentent les bases. (Reproduite avec permission de F. H. C. Crick et J. D. Watson* [17].)

ceci se fait, mais Watson et Crick ont proposé un modèle structural d'ADN qui suggère quelques caractéristiques d'un mécanisme possible [1]. Leur modèle prend ici un intérêt particulier puisqu'il montre très clairement comment un nouveau concept de structure moléculaire peut donner naissance à des idées nouvelles sur les fonctions biologiques et peut éventuellement amener à l'interprétation de modifications pathologiques.

Le modèle d'ADN de Watson et Crick consiste en deux chaînes courant en directions opposées et enroulées l'une autour de l'autre pour former une double hélice (figure 2). Il ressemble à un escalier en colimaçon dans lequel les bases forment les marches et la chaîne d'esters phosphoriques fournit la rampe. Chaque marche est formée de deux bases, une de chacune des chaînes, reliées entre elles par des ponts d'hydrogène. Supposons maintenant que les quatre types différents de bases formant les lettres de l'alphabet génétique soient appelées A, T, G et C, le modèle nous prédit alors que seulement des paires spécifiques de bases peuvent se lier pour former une marche, de telle sorte que A est toujours lié à T et G à C; ceci implique que la succession des bases dans les deux chaînes formant la double hélice doit être complémentaire de telle sorte que la disposition sur une chaîne détermine celle de l'autre (figure 3).

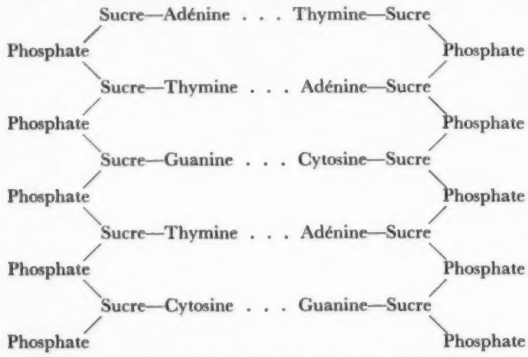


FIGURE 3 – *Appariement des bases entre les deux chaînes de la double hélice de l'ADN.*

Quand nous voulons copier un document nous préparons un négatif à partir duquel nous faisons un positif. La disposition complémentaire des bases dans les deux chaînes fait que l'ADN est à la fois un positif et un négatif. Pour se reproduire les deux composants devront se séparer et chacun faire une copie de lui-même. De cette manière, il se formerait deux copies portant chacune une information identique à celle de la chaîne double dont elles sont issues (figure 4).

En concentrant l'attention sur une structure et un mécanisme de reproduction définis, le modèle de Watson et Crick a agi comme stimulant pour un grand nombre d'expériences intéressantes. L'une des bases du modèle a été fournie par le travail de Wilkins et Franklin [2] sur la diffraction des rayons X. Ces deux travailleurs et leurs collaborateurs ont depuis montré que les diagrammes de diffraction des rayons X par des fibres d'ADN, de n'importe quelle origine, sont pleinement compatibles avec la double hélice de Watson et Crick,

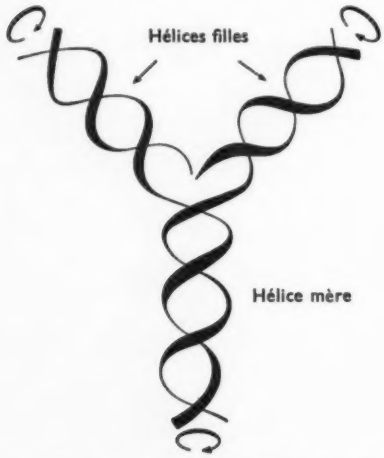


FIGURE 4 – *Schéma de Watson et Crick pour l'autoreproduction de l'ADN. Le déroulement de la double structure mère, la copie et le réenroulement des hélices doubles filles se feraient simultanément. Les 3 bras de l'Y tourneraient dans le sens indiqué. (D'après M. Delbrück et G. S. Stent, dû à l'obligeance de Johns Hopkins Press.)*

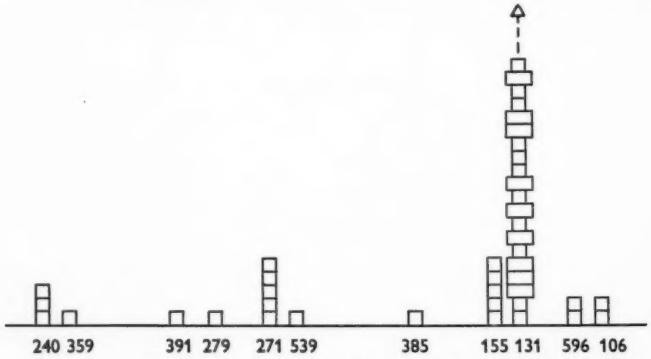


FIGURE 5 – *Carte génétique des mutants le long d'un court segment d'un des gènes du bactériophage T4. Chaque case représente la production d'un mutant. Les distances entre les mutants sont basées sur les fréquences de recombinaison entre eux et n'ont pas de signification directe en termes physiques, mais des calculs approximatifs indiquent que la distance physique entre les mutants les plus proches correspond à quelques maillons le long d'une chaîne d'ADN. (D'après S. Benzer, due à l'obligeance de Johns Hopkins Press.)*

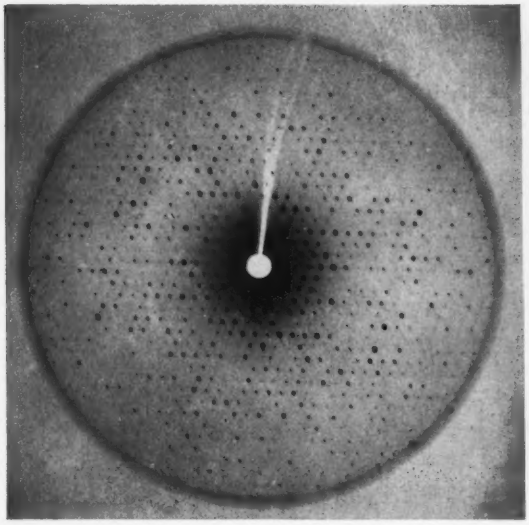


FIGURE 6 – *Figure de diffraction des rayons X obtenue à partir d'un cristal unique d'hémoglobine. Chaque tache est une image diffractée du cristal. Les différentes intensités des taches sont les données à partir desquelles on déduit finalement la structure.*

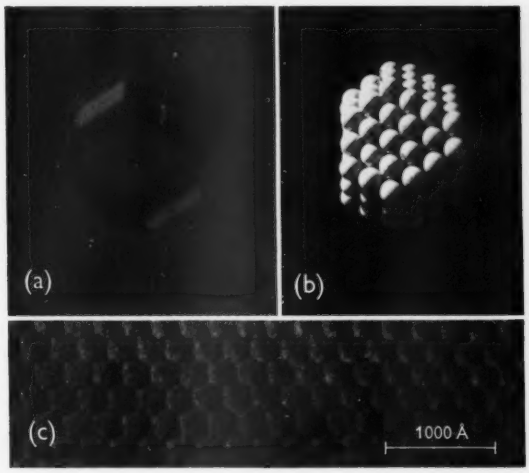


FIGURE 8 – (a) *Microphotographie d'un cristal de virus de la poliomyélite (souche Mahoney).* (b) *Modèle montrant la disposition probable des particules de virus.* (c) *Microphotographie électronique de particules du virus régulièrement entassées sur une des faces du cristal.* (*Reproduit avec la permission de R. L. Steere et F. L. Schaffer* [18].)

sous réserves de modifications de certains détails du modèle initial. Wilkins a aussi montré que la double hélice est présente, non seulement dans les fibres d'ADN purifiées, mais aussi dans les têtes de spermatozoïdes vivants, avec probablement une troisième chaîne de protamine enroulée autour. Nous pouvons donc être pratiquement sûrs que la structure est exacte et qu'elle se trouve dans les chromosomes vivants.

Un trait essentiel du code ADN est son caractère linéaire. Cette prédiction a été mise à l'épreuve par S. Benzer à l'Université Purdue, dans une expérience très ingénieuse sur la recombinaison génétique du bactériophage. Les résultats de ce travail ont montré qu'il peut se produire des mutations à jusqu'à une centaine d'endroits différents à l'intérieur d'un seul gène physiologique, que l'on ne peut donc plus regarder comme une unité indivisible (figure 5). De plus, Benzer a pu montrer que tous ces points de mutation se placent sur une seule rangée et que la distance entre les points les plus proches ne dépasse pas la longueur de quelques maillons de la chaîne de nucléotides [3]. Ainsi on a maintenant vérifié expérimentalement, au moins dans un organisme, la disposition linéaire du code génétique.

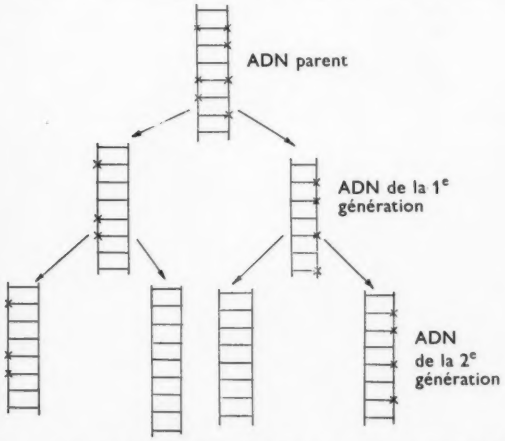


FIGURE 7 – *Distribution d'un isotope marqueur de l'ADN parent entre les doubles hélices d'ADN filles. Les croix indiquent les isotopes marqueurs.*

Nous arrivons maintenant au mécanisme de la copie. Le modèle de Watson et Crick suggère qu'à chaque cycle de réplication, une des deux fibres mères de la double hélice va à chacune des doubles hélices filles (figure 7). On peut vérifier cette hypothèse en marquant l'ADN parent avec des isotopes et en déterminant la distribution des marqueurs dans l'ADN de la descendance. On possède maintenant plusieurs expériences ingénieuses de ce type, une sur le bactériophage, une sur *E. coli* et une troisième sur les chromosomes de germes de fève. Toutes ont donné une réponse compatible avec le mécanisme de copie

FIGURE 9 – *Micrographie électronique de coupes minces de pancréas de rat. Le champ est occupé par des structures connues sous le nom de reticulum endoplasmique (e, c et o) dont la matrice contient beaucoup de petits granules denses (g et r). Ceux-ci sont les microsomes qui synthétisent les protéines. (Reproduite avec la permission de G. E. Palade* [5].)

FIGURE 10 – *Bâtonnets du virus de la mosaïque du tabac colorés à l'acide phosphotungstique qui remplit le canal central et le met en évidence sous forme d'une ligne sombre. (S. Brenner et R. Horne.)*

indiqué par la figure 7, bien que dans deux expériences il subsiste quelques doutes sur le fait que le marqueur transféré fasse réellement partie de l'ADN qui porte le code génétique.

Du point de vue chimique, on a isolé de *E. coli* un extrait d'enzyme ne comportant pas de cellules, qui synthétise l'ADN si les quatre bases sont présentes dans les nucléotides précurseurs. Une condition supplémentaire de la synthèse est la présence d'une amorce, et cette amorce doit être de l'ADN. Ces conditions sont en accord avec ce qu'on peut attendre si la synthèse de la chaîne d'ADN demande la présence d'une chaîne complémentaire sur laquelle elle peut faire sa croissance comme une plante grimpante, et que la formation soit interrompue lorsque l'une des quatre bases nécessaires à l'appariement vient à manquer.

Il est trop tôt pour prétendre que le mécanisme de copie génétique suggéré par le modèle de Watson et Crick est démontré de façon concluante, mais les preuves s'accumulent régulièrement. D'un autre côté, il y a encore deux autres aspects importants du mécanisme de copie qui sont loin d'être clairs et que toute théorie générale doit être capable d'expliquer. Ce sont l'origine des mutations et le mécanisme du «crossing-over». D'après le modèle, la mutation la plus simple serait le remplacement d'une paire de bases dans la chaîne d'ADN par une autre, c'est-à-dire A–T par G–C; l'action de certaines substances chimiques mutagènes est compatible avec cette idée. Cependant, la probabilité d'un tel remplacement devrait être la même tout le long de la chaîne. Ceci n'est pas confirmé par les résultats de Benzer qui indiquent que la fréquence des mutations est inégale aux différents lieux génétiques.

Autant que je sache, aucune hypothèse de travail plausible n'a encore été fournie pour le mécanisme moléculaire du «crossing-over». Néanmoins, la multitude d'expériences intéressantes maintenant réalisées sur la copie du bactériophage, sur la transformation et la transduction[1] des bactéries et sur la génétique de nombreux types de microorganismes s'ajoutent progressivement à nos connaissances sur les événements génétiques.

Dans ces considérations j'ai laissé de côté la structure de l'ARN qui est encore inconnue et n'agit comme support de l'information génétique que dans les petits virus. Cependant, comme nous

[1] La transformation est une modification génétique d'une souche de bactéries induite par transfert de l'ADN extrait d'une autre souche. La transduction est le transfert de caractères génétiques d'une souche de bactéries à une autre au moyen d'une infection par des phages lysogènes.

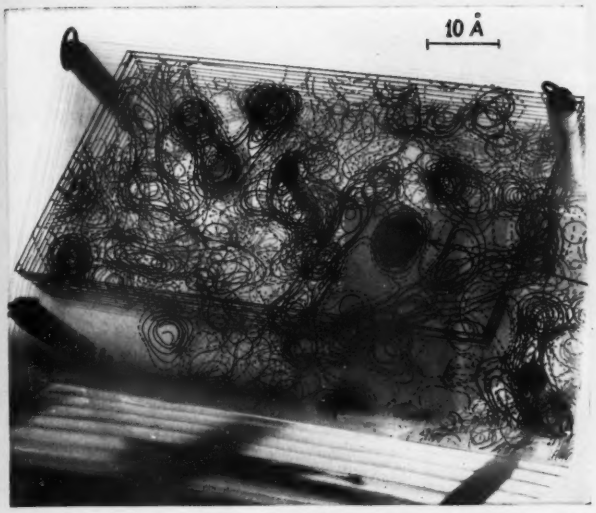


FIGURE 11 – *Carte tri-dimensionnelle montrant la distribution de la densité dans une série de coupes parallèles à travers deux molécules voisines d'un cristal de myoglobine. La flèche indique la haute pointe qui représente le hème contenant du fer. (D'après J. C. Kendrew.)*

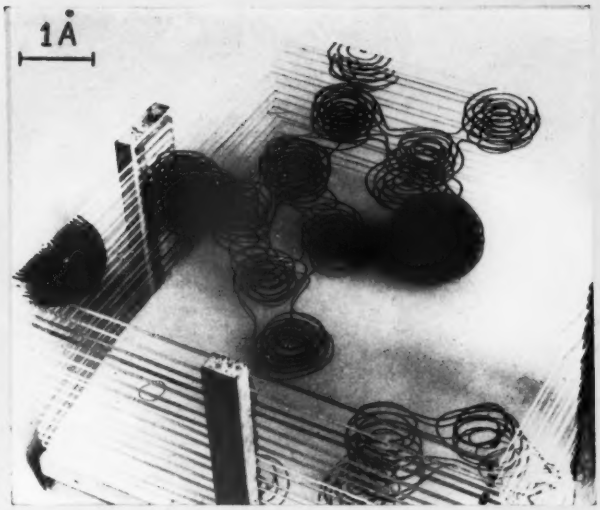


FIGURE 12 – *Coupe dans des molécules de pénicilline, où les atomes se manifestent comme des pics de forte densité électronique. Noter la différence d'échelle entre les figures* 11 *et* 12. *(D'après D. Crowfoot et collaborateurs, communiquée par Princeton University Press.)*

le verrons dans le paragraphe suivant c'est l'ARN et non l'ADN qui contrôle directement la synthèse des protéines; l'ARN peut aussi agir comme transporteur de l'information génétique du noyau au cytoplasme et sa structure est donc d'un extrême intérêt. Malheureusement les fibres d'ARN ont jusqu'ici donné des diagrammes de diffraction aux rayons X trop pauvres pour servir de base à un modèle structural. Le problème doit donc être étudié indirectement. S. Ochoa a isolé une enzyme qui synthétise des fibres ressemblant à l'ARN, de composition variable, à partir de précurseurs simples. A. Rich a montré que beaucoup d'analogues synthétiques donnent de meilleurs diagrammes aux rayons X que l'ARN naturel et fournissent une information précieuse sur les types de structures que l'ARN peut former dans des conditions variées, telles des doubles et des triples hélices. Il semble donc que la solution de la structure de l'ARN ne soit pas tellement éloignée [4].

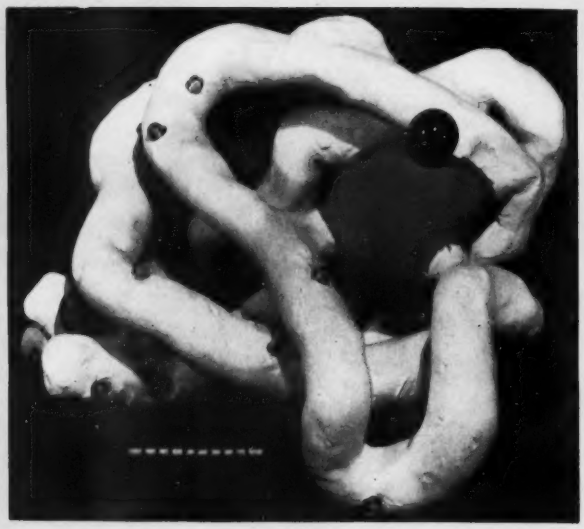
ASPECTS STRUCTURAUX DE LA SYNTHÈSE PROTÉIQUE

Après la structure et le mécanisme de copie du matériel génétique, nous pouvons maintenant considérer sa fonction. Si un gène détermine la structure spécifique d'une enzyme, la signification du code génétique doit alors s'exprimer en termes de structure protéique. On peut traiter cette question d'une manière purement formelle sans se soucier du mécanisme chimique impliqué dans la synthèse protéique.

Considérons la structure d'une protéine en relation avec celle d'un acide nucléique. L'unique trait commun entre ces deux substances est l'existence d'une succession linéaire spécifique d'unités différentes sur une longue chaîne. Ce qui les distingue, c'est le nombre des différents types d'unités que chacune contient. Tout acide nucléique contient principalement quatre sortes de bases différentes, tandis que les protéines contiennent principalement vingt types différents d'acides aminés et c'est la succession de ceux-ci qui détermine leur spécificité. Nous admettons maintenant comme hypothèse de travail que la succession des quatre bases le long de la chaîne d'acide nucléique détermine la succession des acides aminés le long de la chaîne protéique et que c'est là l'objet réel du code génétique.

Ces idées formelles suggèrent que l'appareil de synthèse des protéines est un moule d'acide nucléique sur lequel les acides aminés s'assemblent dans l'ordre voulu, avant de se lier pour former

FIGURE 13a – *Modèle de la molécule de myoglobine. La saucisse blanche représente la chaîne polypeptidique et le disque gris le hème. Les petites boules représentent les positions des différents atomes lourds utilisés pour déterminer la structure. L'échelle est en unités Ångström.*



10 Å

FIGURE 13b – *Vue de dessus de la molécule de la figure* 13a [10].

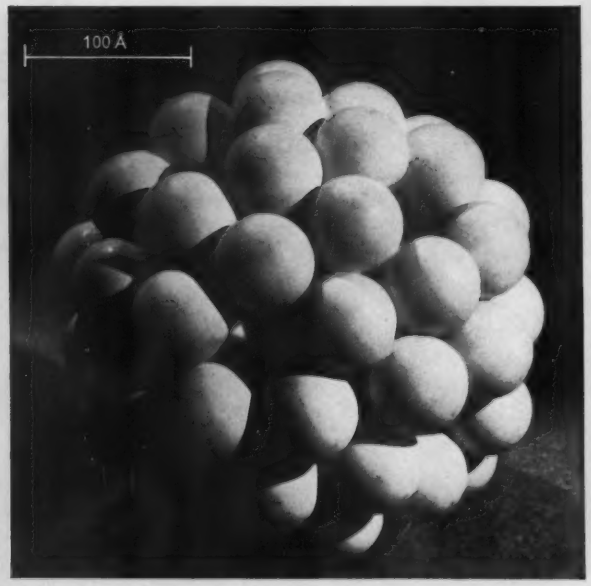


FIGURE 14 – *Modèle d'entassement symétrique de* 60 *sous-unités identiques sur la surface d'une sphère (F. H. C. Crick). Ceci peut représenter la structure de la couverture protéique de certains virus végétaux ou peut-être du virus de la poliomyélite. On ne montre pas l'ARN.*

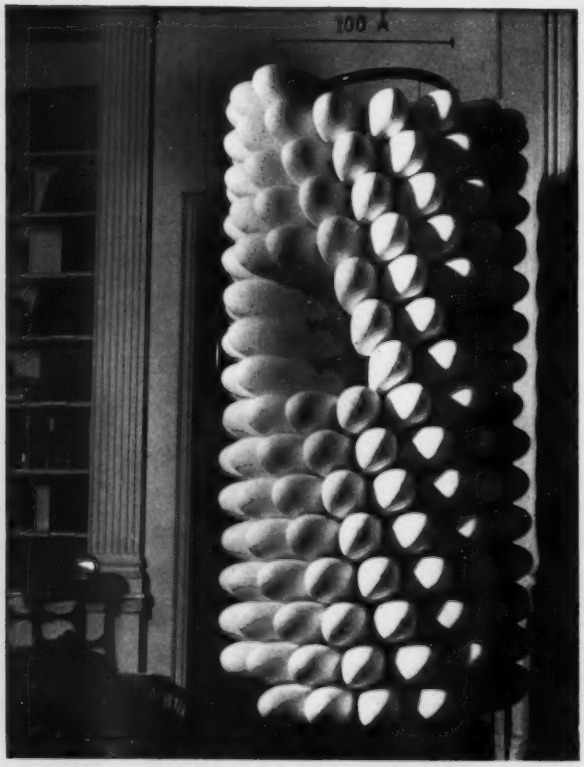


FIGURE 15 – *Modèle du virus de la mosaïque du tabac. Chaque «pain» représente une sous-unité protéique de poids moléculaire* 17 000. *L'ouverture montre les spires d'ARN à l'intérieur de la particule. Le pas de l'hélice est de* 23 *Å. (Rosalind Franklin et A. Klug.)*

une chaîne polypeptidique. En fonction de ce que nous avons déjà dit, on s'attend naturellement à trouver ces moules dans le noyau cellulaire et il serait surprenant que la vitesse de synthèse protéique dans le noyau soit basse. Néanmoins, la plupart des protéines sont probablement fabriquées dans le cytoplasme où l'on a mis en évidence comme points de polymérisation de petites particules sphériques appelées microsomes (figure 9). Ils ont des poids moléculaires de l'ordre de quelques millions et contiennent seulement de l'ARN et des protéines. Il existe des preuves que c'est l'ARN qui, dans ces particules, forme le modèle sur lequel se moulent les chaînes protéiques [5].

Il apparaît maintenant pourquoi il est si important de connaître la structure de l'ARN. Nous espérons que cette connaissance nous aidera à deviner le mécanisme d'assemblage des acides aminés. On a réalisé, ces quelques dernières années, de grands progrès dans la compréhension du mécanisme chimique de l'activation des acides aminés et de la façon dont ils sont amenés à ce «banc de montage».

M. Hoagland et d'autres ont découvert des enzymes activantes qui unissent les acides aminés à l'adénosine monophosphate (AMP). Hoagland a aussi montré que ces anhydrides acides aminés AMP activés sont probablement attachés à de l'ARN soluble, de poids moléculaire relativement petit, qui joue le rôle de transporteur avant l'entrée dans les microsomes [6]. Il apparaît donc que le cytoplasme contient au moins deux types d'ARN, dont l'un possède une fonction métabolique et l'autre sert de modèle pour la synthèse protéique. Nous ne sommes peut-être pas très éloignés du moment où la convergence des idées chimiques et structurales nous conduira à la découverte du mécanisme de synthèse. D'autre part, nous ne savons pas encore comment se transmet l'information génétique de l'ADN du noyau à l'ARN du cytoplasme, et ceci est une des questions importantes à résoudre dans l'avenir.

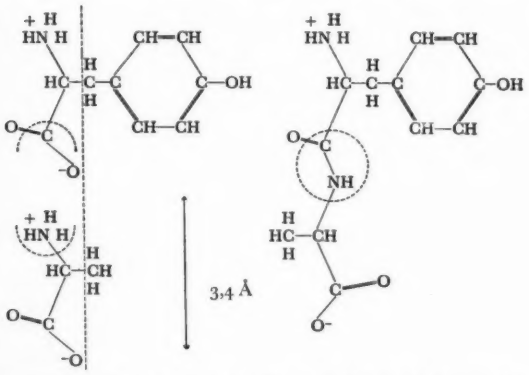


FIGURE 16 – (*A gauche*) *Deux acides aminés, tyrosine au-dessus et alanine au-dessous. La partie à gauche de la ligne brisée est la même dans tous les acides aminés et se trouve incorporée dans la chaîne principale. Les groupements à droite forment les différentes chaînes latérales.* (*A droite*) *Les deux acides aminés réunis par une liaison peptidique. Celle-ci laisse libres la fonction aminé vers le haut et la fonction carboxyle en bas pour former des liaisons peptidiques avec d'autres acides aminés et aboutir à la formation d'une longue chaîne.*

STRUCTURE DES PROTÉINES

Comme les acides nucléiques, les protéines sont des molécules géantes. Ce sont des chaînes polypeptidiques dans lesquelles les mêmes groupes chimiques

—CO—RCH—NH—CO—RCH—NH—

se répètent à intervalles réguliers. Les chaînes latérales R, qui peuvent être constituées par une vingtaine de types différents d'acides aminés, donnent la spécificité (figure 16).

Une molécule d'enzyme peut comporter une ou plusieurs de ces chaînes polypeptidiques qui, ensemble, peuvent contenir depuis une centaine jusqu'à plusieurs milliers de restes amino-acides,

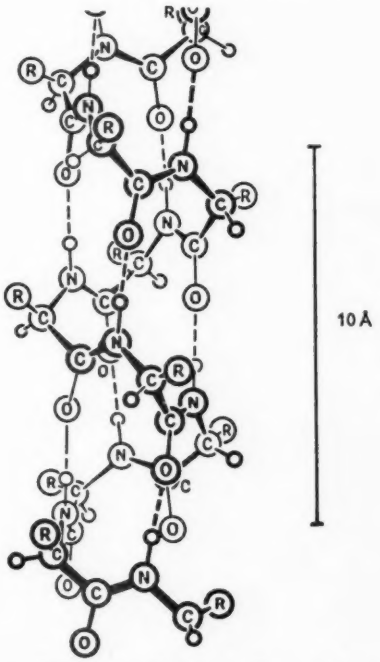


FIGURE 17 – *Hélice α de Pauling et Corey. Les atomes marqués R représentent les chaînes latérales.* (*Due à l'obligeance de L. Pauling, R. B. Corey et H. R. Branson* [19].)

tous disposés dans un ordre défini. Le nombre de chaînes et la succession des restes dans celles-ci constitue la structure primaire d'une protéine.

Comme pour les acides nucléiques, les liaisons secondaires des groupements variés dans une chaîne polypeptidique sont mieux satisfaites si la chaîne est tordue en hélice. L'hélice α de Pauling et Corey (figure 17) est la plus stable, mais ce n'est pas le seul type de configuration hélicoïdale que peut prendre la chaîne. Le type d'hélice formée, ou plus généralement, la manière dont un reste est lié à ses voisins le long de la chaîne constitue la structure secondaire d'une protéine.

D'après ce que nous avons vu jusqu'ici, le lecteur pourrait se représenter les molécules protéiques comme des fibrilles ou des cordes. Les protéines du collagène, des cheveux et certaines des muscles, par exemple, ont une structure de ce type, mais la majorité des enzymes ont probablement une forme approximativement sphérique. Nous pouvons en déduire que la chaîne ou l'hélice est repliée sur elle-même, si bien que la molécule complète se comporte en solution comme une boule. Cette sorte de pliage constitue la structure tertiaire d'une protéine.

Beaucoup d'enzymes contiennent un ou plusieurs groupements non protéiques (prosthétiques) qui constituent le site de l'activité catalytique. Leur fonction exacte dépend généralement de leur combinaison avec une protéine spécifique.

Pour compléter cette introduction à la structure des protéines, on doit mettre en évidence un autre point important. Non seulement le nombre des chaînes polypeptidiques et la succession des restes amino-acides d'une protéine sont définis et spécifiques, mais il en est de même pour les structures secondaire et tertiaire. En fait, une molécule protéique se présente comme un animal qui possède une anatomie tri-dimensionnelle construite sur un plan défini, rigide dans certaines parties et souple dans d'autres, avec peut-être quelques variations mineures entre différents individus d'une même espèce.

Les études chimiques et cinétiques ont apporté de nombreux renseignements sur les sites catalytiques de certaines enzymes et sur la nature des réactions qu'elles catalysent, mais nous ne possédons encore aucune connaissance détaillée sur la structure d'une enzyme, et pas même la plus rudimentaire information sur la grande majorité d'entre elles. Le problème demande d'être abordé par deux voies différentes: l'une chimique, pour trouver le nombre de chaînes, l'ordre de successino des restes et la nature des liaisons entre protéine et groupement prosthétique; l'autre physique, pour découvrir la manière dont les chaînes polypeptidiques sont enroulées et repliées et la nature des liaisons chimiques secondaires qui les maintiennent ensemble. Ces deux types d'études ont été appliqués par les membres du personnel du *Medical Research Council* à Cambridge, l'un au Département de Biochimie par F. Sanger et ses collègues et l'autre au Centre de Biologie Moléculaire du Laboratoire Cavendish. Les deux méthodes sont laborieuses à l'extrême.

L'étude chimique de Sanger a atteint son point culminant avec la détermination de la constitution de l'insuline qui contient 51 restes disposés en deux chaînes étroitement liées (figure 18) [7]. Cette découverte est un des jalons de la chimie des protéines. Pour la première fois elle lève tout doute sur l'hypothèse polypeptidique que Hofmeister avait énoncée il y a cinquante ans. Elle établit que les restes amino-acides sont réellement disposés dans un ordre défini, génétiquement déterminé; mais réfute la croyance largement répandue auparavant de la régularité dans l'ordre de succession. Elle révèle la part que prennent les ponts de cystine dans l'architecture des molécules protéiques et la nature chimique des différences entre espèces. Le fait le plus important est que Sanger a démontré que l'on peut déterminer par des moyens chimiques la formule complète d'une protéine, au moins en ce qui concerne les liaisons primaires de covalence et, par là, suscité un grand nombre de nouvelles recherches dans le monde entier.

Les recherches physiques sur la structure des protéines cristallisées sont basées sur l'analyse aux rayons X, qui demande l'étude de diagrammes de

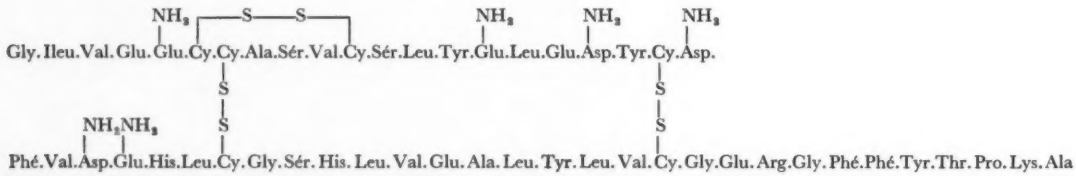


FIGURE 18 – *Constitution chimique de l'insuline de bœuf. Gly = glycine, Ileu = isoleucine, Val = valine, etc.* (*Reproduite avec la permission de A. P. Ryle et collaborateurs* [7].)

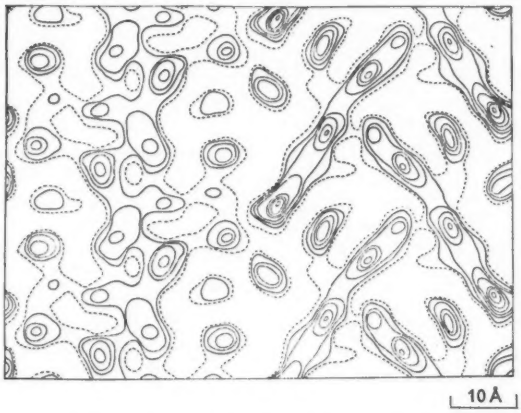


FIGURE 19 – *Coupe à travers plusieurs molécules de myoglobine. Les longues crêtes de forte densité à droite, représentent les chaînes polypeptidiques* [10].

diffraction fournis généralement par un unique cristal. C'est une technique que l'on a très largement utilisée pour déterminer la disposition atomique dans les composés organiques. Mais la plupart de ces composés étaient au moins une centaine de fois plus petits que les molécules de protéines et il était difficile d'étendre les méthodes d'analyse aux rayons X à des molécules d'une taille aussi énorme [8]. Aucune des recherches n'a donné beaucoup de résultats jusqu'à ce que l'auteur découvre en 1953 que l'on pouvait résoudre le problème en étudiant le diagramme de diffraction des rayons X obtenu à partir d'une paire isomorphe de cristaux, l'un contenant la protéine seule et l'autre un complexe de la protéine avec un atome lourd, comme le mercure. Il devint bientôt apparent qu'il ne suffirait pas d'une paire isomorphe et que toute une série de composés isomorphes à atomes lourds seraient nécessaires, chaque composé ayant son atome lourd attaché en un point différent de la molécule protéique [9]. Cette méthode est maintenant devenue la base de l'analyse de la structure des protéines et des virus cristallisés dans beaucoup de laboratoires (figure 6).

Le plus grand succès de la méthode a été atteint au cours de ces derniers mois, quand J. C. Kendrew a pu construire le premier modèle tridimensionnel d'une molécule protéique que l'on ait jamais fait. Il représente la myoglobine, protéine d'un poids moléculaire de 17 000, longue chaîne polypeptidique de 153 restes dont l'ordre de succession est inconnu, plus une molécule d'hème, identique à celle qui se trouve dans l'hémoglobine, comme seul groupement prosthétique. Comme l'hémoglobine, la myoglobine se combine d'une manière réversible avec l'oxygène moléculaire; elle est utilisée par les vertébrés pour stocker de l'oxygène dans le muscle.

Le modèle de Kendrew est le résultat d'une analyse tri-dimensionnelle aux rayons X qui montre la distribution des densités dans la molécule de myoglobine au niveau d'une série de coupes parallèles, tout à fait analogue à une série de coupes au microtome faites dans un tissu, mais à une échelle mille fois plus petite (figure 11) [10]. La figure 19 donne un exemple d'une telle coupe qui prend la forme d'une carte hypsométrique dont les collines et les vallées représentent les régions de haute et basse densité. Ordinairement, les coupes de ce type, obtenues par analyse aux rayons X, permettent de résoudre les atomes individuellement, comme dans le cas de la pénicilline que montre la figure 12 mais, quand on analyse des molécules aussi grosses que les protéines, il convient de réaliser la résolution atomique par étapes. A ce premier stade de l'analyse tri-dimensionnelle de la myoglobine, la résolution est seulement de 6 Å, ce qui est trop grossier pour résoudre individuellement les chaînes latérales d'acides aminés, sans parler des atomes, mais est suffisant pour montrer le groupement hème et les grands traits de la chaîne polypeptidique. A cette résolution, cette chaîne ressemble à un nuage de grande densité, analogue à la traînée de vapeur d'un avion, sans grande différenciation. Le groupement hème, avec son atome central de fer,

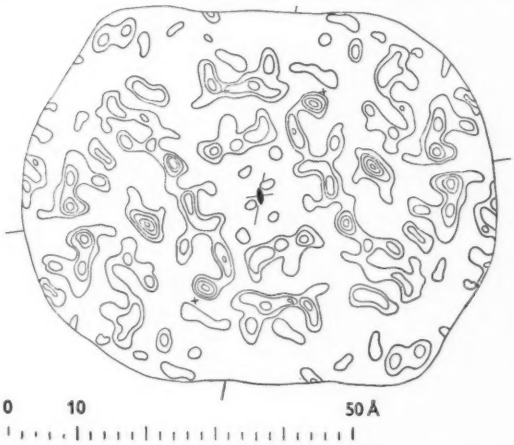


FIGURE 20 – *Représentation de la distribution des densités dans la molécule d'hémoglobine, vue en projection sur un plan. Le symbole au centre représente un axe de symétrie d'ordre 2, qui impose que la molécule soit constituée de deux moitiés structuralement identiques. Les crêtes représentent des régions de haute densité. Les contours dans les vallées sont omis.*

reconnaissable à sa forte densité, ressemble à une sphère légèrement écrasée. En traçant la succession des régions de haute densité dans les différentes coupes, Kendrew a pu construire un modèle plausible de la molécule de myoglobine (figure 13). Celui-ci révèle une structure remarquablement intriquée, dépourvue de toute régularité et beaucoup plus complexe que tout ce qu'on avait imaginé. La chaîne polypeptidique est repliée et tressée en un lacis compliqué, et enferme comme dans un filet le groupement hème. A partir d'une des coupes donnant la densité, il est possible de déduire le point d'attache de l'atome de fer à la chaîne polypeptidique, mais il semble y avoir au moins deux autres points de contact entre la chaîne et le noyau protoporphyrine. Seul le côté sur lequel s'attache l'oxygène reste clair. La nature des groupements chimiques participant à l'interaction entre le hème et la chaîne polypeptidique n'est pas encore résolue, ni la configuration de la chaîne elle-même, mais, en se basant sur la distance entre les différentes portions de la chaîne dans les régions où elle se replie sur elle-même, et sur sa forme cylindrique, on peut supposer qu'elle est enroulée en hélice. Le type de cette hélice n'est pas clair.

Kendrew, au stade suivant de son analyse essayera d'atteindre la résolution de 3 Å qui suffirait à montrer les spires de l'hélice et la position des plus grosses chaînes latérales. La résolution atomique est encore éloignée et le chemin est hérissé de difficultés.

Le travail de l'auteur porte sur la structure de l'hémoglobine qui a un poids moléculaire de 67 000, quatre fois celui de la myoglobine, et contient quatre chaînes polypeptidiques et quatre groupements hèmes. Elle est constituée de deux moitiés identiques (et non quatre quarts identiques) réunis pour former une molécule grossièrement sphérique de dimensions 55 × 55 × 70 Å. Alors que le modèle de la myoglobine est basé sur une analyse de la distribution des densités dans une série de coupes à espacement très faible dans la molécule, tout ce que nous pouvons montrer de l'hémoglobine à l'heure actuelle est une distribution de densité vue en projection sur un plan (figure 20). Cette figure a une résolution de 2,8 Å, en principe suffisante pour distinguer des détails significatifs, mais elle souffre de la superposition de beaucoup de détails tous projetés sur le même plan, un peu comme l'image aux rayons X d'un animal dans laquelle les différents organes apparaissent superposés. Cette projection ne constitue qu'une étape de l'étude tri-dimensionnelle qui nous conduira à un modèle moléculaire dans un avenir pas trop éloigné. Nous espérons qu'il montrera la disposition des quatre hèmes et des deux groupes sulphydryl extérieurs parmi les six de la molécule, ainsi que le plan général des quatre chaînes polypeptidiques. Avec de la chance, nous pourrons aussi voir comment sont unies les deux moitiés de la molécule et la relation entre la structure de la myoglobine et celle de l'hémoglobine [11].

Le lecteur peut se demander quel but se proposent des analyses aussi poussées. Supposons qu'un beau matin nous nous trouvions miraculeusement en possession d'un dossier donnant les positions des 10 000 atomes de la molécule d'hémoglobine, qu'en ferions-nous? L'analyse de l'insuline de Sanger nous a appris quelle sorte de structure primaire on peut attendre dans les protéines; mais avant le modèle de myoglobine de Kendrew on ne savait rien d'une manière définitive sur sa structure secondaire et tertiaire. La solution complète de la structure d'une protéine par les rayons X nous ouvrirait une mine d'informations stéréochimiques et nous fournirait des explications rationnelles pour les phénomènes de base de la chimie des protéines, comme l'activité enzymatique, la dénaturation, la solubilité, l'accessibilité des groupements chimiques et les différences entre espèces. Il en ressortirait aussi probablement quelques principes architecturaux qui s'appliquent aux protéines en général, mais à ce stade, on ne peut être sûr que de tels principes existent ou ne risquent pas d'être rejetés dans l'ombre par l'individualité spécifique de chaque protéine. Une connaissance détaillée de la structure des protéines est d'importance capitale en biologie et en médecine et peut finalement nous mener à une connaissance plus profonde des fonctions physiologiques et pathologiques.

STRUCTURE DES PROTÉINES, MUTATIONS ET DIFFÉRENCES ENTRE ESPÈCES. STRUCTURE DES ANTICORPS

Après l'étude de la structure des acides nucléiques et des protéines, il nous faut considérer à nouveau la relation entre le gène et son produit, en examinant les effets des mutations génétiques sur les protéines. S'il existe réellement une correspondance directe entre la succession des paires de bases dans l'ADN et la succession des restes amino-acides dans une chaîne polypeptidique, une mutation, qui consiste en un changement du code génétique, devrait s'exprimer par une modification dans la succession des acides aminés.

Considérons d'abord l'action d'une seule mutation. L'anémie à globules falciformes (sicklémie) et la maladie à hémoglobine C sont deux déficiences congénitales qui se transmettent suivant les lois de Mendel. Chacune est due à l'apparition d'une hémoglobine anormale, qui altère gravement les propriétés des globules rouges. Au cours de l'année passée, V. M. Ingram et J. A. Hunt ont découvert que l'anomalie est due à la modification d'un seul des environ 300 restes amino-acides de la demi-molécule d'hémoglobine, un acide glutamique étant remplacé par la valine dans l'hémoglobine des globules falciformes et par la lysine dans l'hémoglobine C (figure 21) [13]. Envisagée du

Hb A . . . $\overset{+}{\text{His}}$—Val—Leu—Leu—Thr—Pro—*Glu*—$\overset{-}{\text{Glu}}$—$\overset{+}{\text{Lys}}$ . . .

Hb F . . . $\overset{+}{\text{His}}$—Val—Leu—Leu—Thr—Pro—*Val*—$\overset{-}{\text{Glu}}$—$\overset{+}{\text{Lys}}$ . . .

Hb C . . . $\overset{+}{\text{His}}$—Val—Leu—Leu—Thr—Pro—*Lys*$^{-}$ $\overset{+}{\text{Glu}}$—$\overset{+}{\text{Lys}}$ . . .

FIGURE 21 – *Succession des restes d'acides aminés dans un petit segment d'une des chaînes polypeptidiques de l'hémoglobine. Les trois lignes montrent la succession dans l'hémoglobine normale (Hb A), dans l'hémoglobine de l'anémie à globules falciformes (Hb F) et dans la maladie à hémoglobine C (Hb C). On voit que tous les acides aminés excepté un (en italique) restent inchangés.*

point de vue de la chimie des protéines, cette découverte nous montre que la modification d'un seul acide aminé, placé dans une région sensible de la molécule protéique, peut avoir un effet profond sur les propriétés physiologiques de celle-ci. Génétiquement, le fait que ce changement est le plus petit possible suggère qu'il dépend d'une seule mutation dans le gène hémoglobine, et comme c'est le même radical qui se trouve remplacé dans les deux anomalies, il y a lieu de penser qu'à l'échelle moléculaire, le locus de la mutation globules falciformes est très proche sinon identique au locus de la mutation hémoglobine C.

La découverte de Ingram a démontré très clairement et d'une manière frappante que les mutations agissent à une échelle très petite, mais on peut aboutir au même résultat en considérant la manière dont les modifications évolutives se manifestent dans la structure des protéines. Il est bien connu que la composition en acides aminés, la forme cristalline, le caractère antigénique et d'autres propriétés d'une protéine donnée varient d'une espèce à l'autre. Les récents travaux de Sanger, du Vigneaud, Li et d'autres auteurs nous ont fait connaître les changements dans la succession des acides aminés qu'entraînent de telles différences entre espèces. Sanger et ses collègues ont trouvé par exemple que la majeure partie de la molécule d'insuline est identique dans des espèces aussi profondément séparées que le bœuf, le cheval, le porc, le mouton et la baleine. Les substitutions ne se produisent que dans une région «spécifique» (sensible à l'espèce) qui se trouve entre les deux moitiés de restes cystine formant le pont interne dans une des deux chaînes. Une thréonine peut remplacer une alanine, une sérine remplacer une glycine et une isoleucine, une valine [14]. Ces modifications sont évidemment inoffensives, bien que le pont de cystine, auquel les radicaux variables sont attachés, soit connu pour être essentiel à l'activité hormonale. On ne sait pas si ces trois restes sont variables parce qu'ils correspondent à une région instable du gène insuline, ou parce que les mutations conduisant au remplacement d'un quelconque des 48 autres restes de la molécule d'insuline seraient léthales. On a aussi trouvé dans d'autres hormones des différences spécifiques provenant du remplacement d'un ou deux restes dans une longue chaîne.

Les variations de ces peptides et de ces protéines expriment quelques-unes des mutations grâce auxquelles l'espèce a évolué. Ce qui nous impressionne le plus à leur sujet, c'est la preuve que les mutations agissent sur une échelle aussi petite que celle qui affecte seulement un radical à la fois. Beaucoup d'entre nous croient, bien qu'il soit difficile de justifier notre croyance, que la cause de telles mutations est le remplacement d'une seule paire de bases dans la double hélice d'ADN qui constitue le gène. Même si l'on ne peut encore vérifier ceci, il serait au moins possible indirectement de vérifier l'hypothèse de l'ordre de succession en mettant en corrélation les données génétiques sur la succession et l'espacement des locus mutants à l'intérieur d'un gène, avec les données chimiques sur les variations dans la succession des acides aminés contrôlée par ce gène. Le système du bactériophage de Benzer où il a pu localiser une centaine de locus à l'intérieur d'un seul gène, offre une possibilité pour un tel travail.

Un autre problème qu'on peut reconsidérer dans ce contexte est celui de la structure des anticorps. La question concerne la différence entre deux molécules d'anticorps faites en réponse à deux haptènes différents. Réside-t-elle simplement dans un repliement différent de la chaîne polypeptidique dans deux protéines chimiquement identiques ou est-elle due à une modification de la succession des acides aminés? Les méthodes d'analyse extrêmement sensibles que mettent au point maintenant Sanger et Ingram pourraient fournir une réponse à cette question.

STRUCTURE DES PETITS VIRUS ET DES MICROSOMES

Comme le bactériophage a été le virus de choix pour les études sur la génétique et la croissance, les petits virus végétaux se sont révélés un excellent matériel pour les recherches sur la structure moléculaire. A la différence du bactériophage et d'autres gros virus, ils ne contiennent que de l'ARN et pas d'ADN. L'ARN y est combiné avec des protéines dans des proportions qui varient beaucoup entre les différents virus. Dans les années 1930, lors de la première cristallisation des virus végétaux, certains leur donnèrent le nom de «gènes nus» parce qu'ils paraissaient être des molécules douées d'auto-reproduction. Nous savons aujourd'hui que c'était une erreur. Les beaux travaux de Fraenkel-Conrat à Berkeley et de Schramm et Gierer à Tübingen ont montré que seul l'ARN est infectieux et porte l'information génétique. Ainsi l'ARN est le gène et nous savons aussi maintenant qu'il n'est pas nu, mais enveloppé dans une couche protéique.

L'étude des virus aux rayons X, comme celle des protéines cristallisées les plus petites, a été commencée par J. D. Bernal il y a environ vingt ans. En considération de la taille vraiment gigantesque des molécules et des grandes difficultés théoriques et techniques rencontrées, les résultats déjà atteints, spécialement sur le virus de la mosaïque du tabac, sont très frappants. Le virus de la mosaïque du tabac (VMT) a un poids moléculaire de 45 millions et comporte 5% d'ARN et 95% de protéine. Il a la forme d'un bâtonnet avec une longueur de 3 000 Å et une largeur de 170 Å, quand il est humide (figure 10). Ce qui est remarquable dans cette baguette c'est son caractère cristallin. Les diagrammes aux rayons X montrent qu'elle est construite sur un plan moléculaire qui se répète à intervalles réguliers sur sa longueur, ce qui implique que la partie protéique du virus, au moins, contient un réseau régulier de sous-unités identiques.

Au cours des cinq dernières années, la convergence d'études indépendantes aux rayons X de J. D. Watson, D. Caspar, Rosalind Franklin et A. Klug et des observations au microscope électronique de R. Williams, R. Hart et H. E. Huxley nous a fourni une représentation de la structure interne du VMT qui excite la curiosité (figure 15). Notre première surprise a été de découvrir que le bâtonnet est creux et qu'une cavité de 40 Å de diamètre la parcourt en son centre. Il n'y a qu'une seule longue chaîne d'ARN, enroulée autour de ce canal, qui contient environ 8 000 nucléotides. Nous ne savons encore rien sur la géométrie de cette chaîne, mais, du fait qu'elle est au moins dix fois plus longue que le virus lui-même, nous pouvons penser qu'elle forme probablement un enroulement hélicoïdal, comme un filament de tungstène dans une lampe électrique. Autour de cette spire d'ARN, il y a une disposition hélicoïdale de molécules protéiques comme le montre la figure 15. Beaucoup de ces résultats ont été obtenus par des méthodes physiques [15].

Les études chimiques vont plus loin en nous fournissant des renseignements sur la constitution de ces molécules protéiques. Elles montrent que chacune a un poids moléculaire de 17 000 et est probablement formée d'une chaîne unique de 150 acides aminés. On a déjà déterminé ceux qui se trouvent à chaque extrémité de la chaîne mais le reste de la succession est encore inconnu.

On a découvert plusieurs autres virus végétaux en forme de baguette avec une structure très voisine de celle du VMT. Les autres petits virus paraissent sphériques au microscope électronique et la plupart de ceux qui ont été cristallisés semblent cubiques, comme c'est le cas du virus de la poliomyélite (figure 8). La structure de ces virus sphériques est d'un grand intérêt biochimique et médical. Leur analyse aux rayons X montre comment la symétrie cristallographique peut quelquefois simplifier un problème d'une complexité apparemment sans espoir, parce que dans ce cas particulier la symétrie cubique des cristaux implique que les particules de virus elles-mêmes renferment un certain nombre de sous-unités, disposées symétriquement, de structure identique.

R. Markham a suggéré il y a plusieurs années que le virus jaune du navet se compose d'une enveloppe de protéine englobant un noyau d'ARN. Cette idée et la symétrie cubique ont conduit J. D. Watson et F. H. C. Crick a chercher combien on peut tracer de types différents de disposition régulière de cercles sur la surface d'une sphère. Ils ont bientôt trouvé que ce problème avait déja été résolu par Platon. En négligeant les dispositions inapplicables aux molécules asymétriques les seuls nombres possibles de cercles sont 12, 24 et 60, chacun ayant une symétrie différente, facile à reconnaître par son diagramme de diffraction aux rayons X. Vues au microscope électronique, à une résolution suffisante, de telles particules apparaîtraient comme des polyèdres réguliers ayant une surface analogue à celle d'une mûre (figure 14).

Les résultats obtenus jusqu'à maintenant

confirment ces hypothèses. Par exemple, un petit virus végétal sphérique avec un poids moléculaire total de 9 millions semble avoir une enveloppe protéique qui contient 2 × 60 sous-unités protéiques identiques de poids moléculaire 57 000 disposées sur les faces d'un polyèdre régulier. L'ARN est replié au centre d'une manière inconnue [15]. Un virus plus gros d'insecte (qui contient de l'ADN) se présente clairement comme un icosaèdre au microscope électronique [16].

Les observations actuelles nous conduisent ainsi à conclure que les petits virus sont formés d'un noyau d'acide nucléique qui porte l'information génétique, protégé par une enveloppe faite d'un grand nombre de molécules protéiques de taille comparativement petite, disposées symétriquement. Le noyau d'acide nucléique porte le code de sa propre reproduction et de la fabrication de ses protéines protectrices, aussi bien que de toutes les enzymes requises pour l'une ou l'autre de ses fonctions et qui ne lui sont pas fournies par l'hôte.

Les microsomes associés à la synthèse des protéines dans les cellules normales paraissent ressembler aux virus sphériques en taille et en composition. Ceci suggère qu'une infection à virus est peut-être équivalente à l'injection d'un appareil pour la fabrication d'une protéine dangereuse.

CONCLUSION

Au cours des six dernières années, la biologie moléculaire est passée de la conjecture et de l'incertitude aux conditions d'une science exacte. Les méthodes puissantes d'analyse aux rayons X ont conduit à la connaissance des modèles moléculaires de base, des types les plus importants de fibres protéiques et de l'acide désoxyribonucléique; elles commencent maintenant à révéler la structure des protéines globulaires et des petits virus.

On peut espérer que les faits génétiques chez les virus et les microorganismes seront bientôt compris en termes moléculaires. Nous possédons aussi un point de départ pour comprendre le contrôle génétique et le mécanisme moléculaire de la synthèse des protéines. La contraction musculaire est un autre phénomène que l'on pourra bientôt comprendre en termes moléculaires.

D'autre part, dans beaucoup de domaines la connaissance de la structure est encore rudimentaire et ne montre aucune corrélation avec nos connaissances des fonctions normales et pathologiques. La perméabilité cellulaire et tout le problème du transport actif à travers les membranes en est un important exemple. Si le rapide développement de la biologie moléculaire se poursuit, ces lacunes peuvent se combler graduellement et nous pourrons comprendre de plus en plus de fonctions fondamentales des systèmes vivants, en termes d'interaction entre des molécules de structure connue, au grand bénéfice de la biologie et de la médecine.

RÉFÉRENCES

[1] WATSON, J. D. et CRICK, F. H. C. *Nature, Lond.*, **171**, 737, 964, 1953.

[2] FRANKLIN, R. E. et GOSLING, R. G. *Ibid.*, **171**, 740, 1953.
WILKINS, M. H. F., SEEDS, W. E. et WILSON, H. R. *Ibid.*, **171**, 738, 1953.

[3] BENZER, S. dans «The Chemical Basis of Heredity», publié sous la direction de W. D. McElroy et B. Glass. Johns Hopkins Press, Baltimore. 1957.

[4] FELSENFELD, G. et RICH, A. *Biochim. biophys. Acta*, **26**, 457, 1957.

[5] PALADE, G. E. *J. Biophys. Biochem. Cytol.*, **1**, 59, 68, 1955.

[6] HOAGLAND, M. B., KELLAR, E. B. et ZAMECNIK, P. C. *J. biol. Chem.*, **218**, 345, 1956.

[7] RYLE, A. P., SANGER, F., SMITH, L. F. et KITAI, R. *Biochem. J.*, **60**, 541, 1955.

[8] CRICK, F. H. C. et KENDREW, J. C. *Adv. Protein Chem.*, **12**, 133, 1958.

[9] GREEN, D. W., INGRAM, V. M. et PERUTZ, M. F. *Proc. roy. Soc., A*, **225**, 287, 1954.

[10] KENDREW, J. C., BODO, G., DINTZIS, H. M., PARRISH, R. G. et WYCKOFF, H. *Nature, Lond.*, **181**, 662, 1958.

[11] CULLIS, A. F., DINTZIS, H. M. et PERUTZ, M. F. Conference on Haemoglobin, Washington. *Nat. Acad. Sci. and Nat. Res. Counc.* (*NAS-NRC Publ.* 557), 1957.

[12] BODO, G. *Nature Lond.*, **176**, 829, 1955; *Biochim. Biophys. Acta*, 25, 428, 1957.

[13] INGRAM, V. M. *Nature, Lond.*, **180**, 326, 1957; HUNT, J. A. et INGRAM, V. M. *Ibid.*, **181**, 1062, 1958. Voir aussi INGRAM, V. M. *Sci. Amer.*, **198**, 68, 1958.

[14] BROWN, H., SANGER, F. et KITAI, R. *Biochem. J.*, **60**, 556, 1955.

[15] CRICK, F. H. C. et WATSON, J. D.; CASPAR, D.; FRANKLIN, R. E., KLUG, A. et HOLMES, K. C. dans «The Nature of Viruses», publié sous la direction de G. E. W. Wolstenholme et E. C. P. Miller. J. and A. Churchill Ltd., Londres. 1957.

[16] WILLIAMS, R. C. et SMITH, K. M. *Biochim. Biophys. Acta*, **28**, 464, 1958.

[17] CRICK, F. H. C. et WATSON, J. D. *Proc. roy. Soc., A*, **223**, 80, 1954.

[18] STEERE, R. L. et SCHAFFER, F. L. *Biochem. Biophys. Acta*, **28**, 241, 1958.

[19] PAULING, L., COREY, R. B. et BRANSON, H. R. *Proc. Nat. Acad. Sci. Wash.*, **37**, 207, 1951.

La chimie et l'alchimie à Cracovie au XVIe siècle

par WŁODZIMIERZ HUBICKI

Les débuts de la chimie en Pologne sont très mal connus, mais il y eut une période, le XVIe siècle, où Cracovie fut un des centres de l'alchimie et de la chimie. Cet article passe en revue l'état des deux sciences à ce moment-là. On y trouve la relation d'un des premiers exemples d'essai de vérification par l'analyse quantitative de la production supposée d'or par transmutation.

Cracovie, capitale de la Pologne au Moyen Age, possède une des plus anciennes universités d'Europe centrale, fondée en 1364. Au XVIe siècle, elle comptait de florissantes écoles de magie dans toutes ses branches: Faust y fit ses premières recherches [1]. Ces activités étaient défendues, assez vainement d'ailleurs, par l'Université, qui reconnaissait pourtant officiellement les travaux d'astronomie et d'alchimie, dont elle était un centre renommé. Les calendriers astrologiques cracoviens avaient, en effet, une réputation européenne qu'ils conservèrent jusqu'au XVIIIe siècle et les écoles d'alchimie jouissaient d'un renom similaire.

On voit aisément pourquoi «l'alchimie pratique», devancière de la chimie et distincte de l'alchimie de la pierre philosophale et de l'élixir, avait telle importance en Pologne au XVIe siècle. Ce fut une période de grande activité minière, l'époque de la création des mines d'argent des Monts Tatra, des nouvelles mines de plomb près d'Olkusz et des fonderies de cuivre, de laiton et de plomb [2]. Cracovie était le centre de cette industrie minière et métallurgique.

Une des fonderies les plus importantes, dont un contemporain raconte qu'elle «fumait comme l'Etna», était à Mogila, tout à côté de la ville. Elle avait été créée par Jan Thurzo et exportait du cuivre en Flandre, en France et en Grande-Bretagne. L'Hôtel Royal de la Monnaie de Cracovie utilisait pour ses pièces de l'argent tiré de ce minerai de cuivre et en 1516, un décret royal institua un laboratoire.

Cette *Camera Separatoria* devait étudier la séparation des métaux précieux et la fabrication des fondants et des acides nécessaires. A sa tête se trouvait Kasper Ber, Cracovien comme Thurzo. La réputation de Ber comme métallurgiste, pour employer le terme moderne, était déjà telle qu'elle lui attirait des étudiants de Hongrie, d'Allemagne et de Bohême.

Agricola [3] décrit la méthode polonaise de coupellation, peut-être inventée par Ber, ainsi que celle d'extraction du plomb [4], ce qui prouve que ces techniques étaient assez avancées. Les Polonais étaient aussi remarquablement versés dans les méthodes de titrage. Un décret royal de 1555 stipulait que l'étain pur, importé de Saxe ou d'Angleterre, devait être marqué des initiales du souverain et d'une couronne. On mesurait la pureté du métal en comparant la densité d'un échantillon avec celle de l'étain pur.

Ce procédé ne dénote pas une science particulièrement exacte, mais les méthodes de titrage étaient en général extrêmement précises, avec des pesées rigoureuses. La balance était déjà d'importance frappante à cette époque et beaucoup de manuels de titrage du XVIe siècle décrivent sa construction. Un ouvrage typique est celui de C. Schreitmann [5], qui décrit non seulement l'appareil mais s'étend sur les poids, déclarant qu'ils doivent être faits d'argent, conservés dans des boîtes spéciales et touchés avec des pinces uniquement. C'est un livre éminemment pratique, bien qu'il appelle les poids les plus petits des «atomes» aussi légers que «la poussière flottant dans un rayon de soleil».

Agricola stipule également les précautions à prendre pour peser [6]. «Il faut que l'essayeur titrant du minerai ou des métaux soit préparé et instruit en toutes choses nécessaires à l'essai et qu'il ferme les portes de la chambre où se trouve le fourneau de peur qu'un intrus ne dérange ses pensées attentives au travail. Il doit aussi placer ses balances dans une caisse, de sorte qu'elles ne soient pas agitées par un courant d'air au moment où il pèse les petits boutons de métal, ce qui serait un obstacle à son travail.»

FIGURE 1 – *Foyer polonais pour la fonte du plomb* [4]. *V, foyer polonais; P, méthode westphalienne de fonte; Q, tas de charbon de bois; R, paille; T, creusets.*

Sa description [7] du procédé de titrage de l'or est intéressante. «Une drachme [3,6 g environ] de l'échantillon examiné est fondue avec une once [30 g environ] de plomb en présence d'un fondant qui est appelé sel artificiel. On pèse le grain d'or fondu. Puis on détermine la quantité d'argent dans l'or au moyen de la pierre de touche et des aiguilles d'essai ou en l'attaquant par l'acide nitrique. Le minerai d'argent était évalué par coupellation avec du plomb.» L'exactitude de ces techniques est vraiment frappante.

FIGURE 2 – *Four de coupellation polonais au XVIe siècle* [3]. *A, fourneau semblable à un four; B, passage; C, barres de fer; D, trou par lequel on retirait la litharge; E, creuset sans dôme; F, gros bâtons; G, soufflet.*

Quelques échantillons d'alliages avec leurs analyses faites par un des élèves de Kasper Ber ont été conservés. Nous avons montré qu'en réalité ces résultats diffèrent de moins d'1% de ceux obtenus de nos jours. Cette sorte d'exactitude demandait des réactifs extrêmement purs. L'acide nitrique contenant des chlorures, par exemple, pouvaient causer la dissolution de l'or tout en retardant celle de l'argent. L'acide était purifié par distillation en présence de limaille d'argent.

Paracelse, le représentant, sinon l'initiateur, d'un nouveau point de vue en chimie arriva en Pologne à cette époque, en 1520 exactement. Il pratiquait la médecine à Cracovie, où il avait guéri, paraît-il, le fils d'un riche habitant de la ville, Francis Boner. Le remède consistait en «huile des philosophes», produit de la distillation d'huile végétale avec de la brique pulvérisée. Ses disciples sont à peine connus, à part David Meyer et Albert Baza, médecin de la Cour, qui étaient polonais; l'école paracelsienne des environs de 1560 a laissé davantage de traces.

Cracovie était un des grands centres du mouvement; Paracelse vivait lui-même à Breslau, en dehors de la ville au moment de sa mort, mais il y avait des échanges commerciaux et intellectuels fréquents entre les deux cités.

Le groupe de Cracovie parlait d'alchimie, mais pas au sens de transmutation. Ainsi Adam Schröter de Nissa écrivait: «Seuls les sots pensent que l'alchimie est la connaissance de la fabrication de l'or. Le but de l'alchimie est de chercher de nouveaux médicaments.» C'est Schröter aussi qui décrit en termes paracelsiens captivants les fameuses mines de sel de Wieliczka [8], et déclare que le sel provient des trois «principes», sel, soufre et mercure. Le sel, dit-il, a de nombreux usages, tel que de fondre l'or et les minerais ou de préparer l'élixir, *aurum potabile*, ajoutant qu'il ne doit pas s'étendre davantage car «il ne faut pas que tout le monde connaisse les mystères sacrés du sel». Le pétrole trouvé dans ces mines, par contre, ne l'incitait pas au même secret. «Le pétrole, croyez-moi, est très important, surtout lorsqu'il est allié au sel. Le Bon Dieu en a fait don à notre pays. Pologne, terre de richesses, tu engendres l'admiration de tous côtés.»

Ce fut le même Schröter qui, avec l'aide financière d'Albert Łaski, un palatin polonais riche, contribua énormément à la diffusion des théories paracelsiennes en traduisant en latin *Archodoxae* et *De praeparationibus*, de l'allemand assez peu connu.

Un autre Paracelsiste distingué fut Joachim

Rheticus, élève et disciple de Copernic, habitant quelque temps à Cracovie. En 1567, il écrivait à Joachim Camerarius, professeur à Leipzig: «J'ai récemment entendu parler d'une nouvelle école médicale allemande procédant de Théophraste (Paracelse) que j'ai rencontré et à qui j'ai parlé en 1532. C'était certainement un grand homme qui a fait des travaux spendides... Je m'intéresse à la chimie et à l'astronomie, mais c'est de la médecine que je vis.» Son intérêt pour la chimie se révèle dans une autre lettre au philosophe français Pierre Ramus où il déclare: «Comme j'aime particulièrement la chimie, j'ai examiné ses fondements et écrit sept livres sur ce sujet» [9].

Paracelse avait d'autres disciples à Cracovie. Mardochée Nelle, médecin juif, écrivit un traité sur les «ciments» (appelés maintenant fondants), qui était un commentaire du *De transmutationibus metallorum* de Paracelse. Il y avait aussi Jan Miączynski, professeur de médecine à l'Université et auteur d'un article sur la préparation d'acide sulfurique à partir de vitriol et un autre professeur, Kasper Skarbimirski, qui publia un traité intitulé *Epistolae alchemicae*.

Fait surprenant, le plus grand des Paracelsistes de l'époque est maintenant presque entièrement inconnu: Alexander Suchten [10] était le fils d'un riche notable du port de Dantzig. Il est mentionné dans l'*Album diligentarium* de l'Université de Cracovie sous le nom d'«Alexius Zuchta de Gedano *alias etiam* Suchten *dictus* Kaszuba Polonus» qui enseigna de 1521 à 1522. En 1539 il était chanoine à Frauenburg et contemporain de Copernic. Il étudia ensuite à Louvain et en Italie et, en 1549, devint bibliothécaire d'Othon Henri, électeur du Palatinat. Là, il rassembla des livres d'alchimie, fit probablement connaissance avec les œuvres de Paracelse et gagna de nombreux adeptes. En 1554, il retourna à Cracovie où il devint finalement médecin du roi Sigismond Auguste. Il quitta la Pologne en 1563 et se rendit à la cour du Prince Albert de Prusse, à Kœnigsberg, puis vers 1570 à Strasbourg où il imprima ses premiers travaux sur l'antimoine.

Suchten était un écrivain prolifique et publia nombre de poèmes, dissertations théologiques et traités de chimie et de médecine. Parmi ses œuvres les plus importantes, on compte *Liber unus de secreti antimonii* et *De antimonio vulgari* qui furent traduites en anglais par Cable en 1670 et A. Waite en 1893. Il s'intitulait *Chymicus* et appelait «alchimistes» ceux qui essayaient de réaliser la transmutation, bien qu'il fût très versé dans un bon nombre de procédés alchimiques de distillation et de purification et que plusieurs de ses expériences montrent clairement que c'était aussi son ambition. Il rapporte l'essai d'«argent alchimique» qui se trouva être un alliage d'antimoine et d'une certaine quantité d'or alchimique, considéré véritable par un orfèvre dont il partagea l'opinion jusqu'à un certain stade de l'opération.

Cette dernière expérience est particulièrement intéressante, car c'est le premier compte rendu d'une réfutation expérimentale de la transmutation à l'aide de la balance. Voici ce qu'il dit, d'après la traduction de Cable: «J'en viens maintenant à l'☉,[1] et c'est une merveille de vous raconter ce qui m'est arrivé; quand je l'eus montré à mon bon Compagnon, qui pensait seulement au grand prix qu'il avait obtenu, il ne voulut pas le croire, mais le prit dans ses mains et découvrit enfin la vérité et se mit à douter de son ☉. Il dit que, bien qu'il l'ait souvent mis à l'essai, il ne s'y fiait pas et il me donna une demi-once d'Or pour l'essayer comme il me plairait, ajoutant que M. *Hans* l'Orfèvre disait que c'était de l'Or vrai. Je pris donc l'☉ et le portai chez l'Orfèvre et lui demandai si c'était de l'Or, à quoi il répondit que c'en était et qu'il pouvait le travailler comme de l'☉; car à la vue, à la pierre de touche et au marteau, c'était du très bon ☉. Néanmoins, je pris l'☉ et y ajoutai 2ʒ d'☾ pour le granuler et le dissoudre dans de l'eau-forte; l'☾ fut dissous et l'☉ tomba au fond; cette preuve était bonne. Je mélangeai cette poudre de *soleil* avec de l'♁ brut et le fis fondre avec du *Régule*; puis le versai dans un creuset et jetai du *Nitre* dessus et retirai l'♁ du soleil et le chassai avec du ♄, essai que je trouvai exact également. Je fis fondre à nouveau le *soleil* expulsé avec de l'♁ et du ♃; puis je retirai le *Régule* et les envoyai passer devant le Soufflet de l'Orfèvre, car je n'en avais pas; le *soleil* passa aussi cette épreuve, ce dont tout Chymiste peut justement se réjouir.

«Néanmoins, voyant que la *Lune* m'avait trompé, je ne pouvais me fier au *Soleil*, mais le fis aplatir très finement et l'amalgamai à mon ☿ d'♁; le laissai reposer quatre semaines dans une douce chaleur et notai que l'Amalgame n'était pas dur mais mou, ce qui me fut une déception; néanmoins, je le laissai reposer quatre semaines et trouvai mon Amalgame beaucoup plus humide que lorsque je l'avais déposé; je le mis alors dans

[1] A cette époque, on employait indifféremment les noms de substances et leurs désignations ou symboles astronomiques. Dans cet extrait, les symboles peuvent être interprétés comme suit: ☉ *Sol*, soleil, or; ☾ *Luna*, lune, argent; ♁ antimoine; ♄ Saturne, plomb; ♃ soufre; ☿ mercure.

un Creuset à petit feu pour que le Creuset ne devienne pas incandescent et mon ☿ s'envola si rapidement de l'☉ que je ne le vis pas, mais pensai que mon ☿ s'était coagulé en ☉, mais lorsque je pesai mon ☉, je n'en trouvai qu'une demi-Once et 2 Drachmes et j'étais sûr que les deux Drachmes étaient de l'Or pur.

«Je fis à nouveau l'essai de ces deux Drachmes avec du ☿ d'♄ de la même manière que la première fois et je retrouvai mes deux Drachmes après en avoir évaporé le *Mercure*. Je me réjouis donc, espérant que mon Compagnon me communiquerait sa Préparation et je voyais déjà des Montagnes d'Or et j'apportai la bonne nouvelle à mon Compagnon. Mais il n'était pas gai mais plein d'amertume. Eh bien, dit-il, je me suis donné beaucoup de peine et de labeur pour cet ☉, davantage que je ne dis... L'Or qui te reste en plus ne vient pas du Régule, mais est un composé de l'☉ Naturel; car on ne pourrait pas coaguler le Régule en ☉ s'il n'y avait pas de bon Or avec lui; ainsi, le Soleil est resté dans l'Essai, mais pas l'autre; je ne sais pas comment le faire croître et j'en comprends bien la cause maintenant, que cela ne peut pas être ce que j'espérais.»

Emouvante persévérance dans la recherche de la vérité! Il réussit, en fait, à découvrir que la subtance était un alliage d'or. Suchten explique lui-même la présence du métal dans l'alliage; on l'y avait ajouté selon la pratique courante des alchimistes qui croyaient que l'or pouvait croître ou se multiplier comme la matière vivante.

Il existait aussi une école anti-paracelsiste. En Allemagne, elle était sous la direction de Thomas Eraste, à Cracovie sous celle d'Andrzej Grutyński, professeur à l'Université. Grutyński écrivit deux traités contre Paracelse: *Medicus dogmaticus* et *Solus philosophicus*.

L'importance politique de la Pologne au XVIe siècle provoquait des échanges fréquents de personnes entre Cracovie et les grandes villes d'Europe. Ainsi, Albert Łaski vint en Angleterre en 1583 à l'invitation personnelle de la Reine Elisabeth et prit part à un débat à Oxford, où Giordano Bruno défendait ses théories et celles de Copernic. Il se rendit ensuite à Kenilworth et travailla avec les alchimistes John Dee et Edward Kelley jusqu'au moment où, à court d'argent, il quitta le pays pour éviter la prison et les créanciers.

Laissant en Angleterre ses dettes, il emmena avec lui John Dee et Edward Kelley ainsi que leurs proches. John Dee fait dans ses mémoires la description d'une séance de spiritisme au palais du roi de Pologne, Stéphane Batory, à Niepolomice près de Cracovie, où il fit de nombreuses connaissances.

L'alchimie était donc un sujet favori à Cracovie. Les rois (Sigismond Auguste, Stéphane Batory et Sigismond III) s'y intéressaient tout comme les évêques, les nobles et le peuple. Il y avait des charlatans et des dupes. Mais, petit à petit, la voix de la raison se faisait entendre. Il y avait des sermons contre les escrocs; Grutyński [12] écrit: «Les chimistes cherchent la température convenable pour faire de l'or mais, d'après la nature des métaux, nous savons qu'ils ne peuvent pas faire de l'or mais seulement une substance ressemblant à l'or. Il y a un monde de différence entre l'or naturel et ces mélanges. Il est stupide et sot de peiner dans la fumée, de gâcher du temps et de l'argent de cette façon.»

Suchten, également, attaque Lulle à qui l'on attribuait la fabrication de l'or ayant servi à Edouard III pour faire ses nobles à la rose. La légende est pleine d'anachronismes mais Suchten s'en prend à la possibilité même de l'opération dans son *Elegia de Nobel Raymundi moneta Anglicana* [13].

BIBLIOGRAPHIE

[1] WIER, J. «De praestigiis daemonum et incantationibus...» Bâle. 1564.

[2] HUBICKI, W. *Ann. Univ. M. Curie-Sklodowska, Sec.* AA, **10**, 7, 1955.

[3] AGRICOLA, G. «De Re Metallica», traduit en anglais de la première édition latine de 1556 par H. C. Hoover, p. 483. Londres. 1912.

[4] *Idem. Ibid.*, p. 392.

[5] SCHREITMANN, C. «Probierbüchlein...», p. 18. Francfort-sur-le-Main. 1580.

[6] AGRICOLA, G. «De Re Metallica», p. 223. Londres. 1912.

[7] HUBICKI, W. «Georgius Agricola» (en polonais). Pp. 104–30. Académie Polonaise des Sciences. Wroclaw (Breslau). 1957.

[8] SCHRÖTER, A. «Regni Poloniae Salinarum Vieliciensium Descriptio». Cracovie. 1554.

[9] RHETICUS, J. Bibliothèque de l'Université d'Erlangen, Cod. Ms. Trew's Collection. 1821.

[10] HUBICKI, W. «Dr Al. Suchten le chimiste oublié» (en polonais). Studia i Materiały z dziejów nauki polskiej. Pp. 102–20. Académie Polonaise des Sciences. Varsovie. 1953.

[11] SUCHTEN, A. «Chymische Schrifften alle...», p. 295. Francfort-sur-le-Main. 1680. Citation de la traduction anglaise de Cable: «Alexis von Suchten of the secrets of antimony in two treatises». Londres. 1670.

[12] GRUTYŃSKI, A. «Medicus Dogmaticus». Cracovie. 1598.

[13] SUCHTEN, A. «Chymische Schrifften alle...», p. 489. Francfort-sur-le-Main. 1680.

Radicaux libres en cage

par H. P. BROIDA

La notion d'étapes intermédiaires complexes faisant souvent intervenir des radicaux libres a fait progresser rapidement la théorie des réactions chimiques. Mais la réactivité des radicaux libres, et les faibles concentrations réalisables en freinent l'étude. C'est seulement à une date récente qu'on a associé les techniques de physique des basses températures aux recherches de structure dans l'étude des radicaux libres fixés dans les solides inertes. On expose ici les techniques expérimentales et les résultats des recherches.

On avait déjà pleinement réalisé dans la première moitié du xxe siècle que les réactions chimiques procèdent par étapes définies, et ce fut là un grand progrès scientifique. Depuis longtemps déjà Arrhenius avait montré qu'il fallait un certain apport d'énergie pour qu'elles se produisent, mais c'est seulement vers 1920 que l'on commence généralement à les interpréter d'une façon détaillée en fonction de la structure moléculaire. Le développement des méthodes cinétiques, les progrès en physique et en chimie théorique ont souligné l'importance des mécanismes intimes. On devait trouver que même des réactions relativement simples, comme la formation d'eau à partir d'hydrogène et d'oxygène procèdent par une suite complexe d'étapes. La réaction globale est la résultante d'un grand nombre de réactions élémentaires où se forment très souvent des intermédiaires très réactifs, dont la durée de vie est normalement très faible. Parmi les intermédiaires possibles, se trouve un groupe important de composés, les radicaux libres.

On appelle ainsi des fragments chimiques — atomiques ou moléculaires — doués d'un spin électronique non apparié. Ceci leur confère une grande réactivité, et sauf circonstances favorables — par exemple une stabilisation par résonance pour de gros radicaux aromatiques — la durée de vie de ces corps est très inférieure à la seconde. Par suite de leur grande réactivité leur concentration est en général très faible; elle ne peut devenir grande qu'à très haute température.

Cette réactivité, cette brièveté d'existence, et cette faible concentration rendent très difficile l'étude de la structure et des propriétés des radicaux libres. Cependant, l'emploi de méthodes variées a donné un grand nombre de renseignements [1]. Signalons à ce sujet l'étude cinétique de leurs réactions, l'étude de leurs propriétés spectroscopiques — absorption ou émission de lumière — en particulier dans les flammes ou les gaz chauds [2] et, lorsqu'il est possible de les extraire d'une réaction chimique, l'emploi du spectrographe de masse, qui donne des indications sur leurs concentrations et leur masse [3].

Ces dernières années, plusieurs chimistes ont cherché plus ou moins simultanément à exploiter une idée déjà exprimée en 1941 par G. N. Lewis [4]. Celui-ci avait suggéré qu'on pourrait peut-être préserver des radicaux à bas poids moléculaire en les entourant d'une cage rigide d'atomes ou de molécules sur lesquels ils ne peuvent réagir. Ces recherches ont prouvé qu'on pouvait emprisonner des radicaux très réactifs dans des solides, à basse température [5], la concentration restant environ 1%.

HISTORIQUE

Bien des chercheurs avaient déjà opéré cette mise en cage, sans le vouloir, en explorant d'autres domaines. En gros, on peut diviser l'histoire du sujet en trois parties: la première débute avant le xxe siècle, avec les recherches sur les très basses températures et les observations sur les gaz solidifiés; la seconde débute en 1920, avec l'étude des réactions des radicaux sur les surfaces refroidies, la troisième commence vers 1950, et avec l'application des ressources de la technique moderne.

Les premières observations relatives à des radicaux en cage sont sans doute celles de J. Dewar, à Londres; il signale que l'irradiation ultraviolette d'un certain nombre de solides, à la température de l'air liquide, produit divers éclairs lumineux, et de belles colorations [6]. R. J. Strutt [7], en 1911, essaya, sans résultat, d'emprisonner à la température de l'air liquide, les espèces actives présentes dans l'azote devenu luminescent après avoir traversé une décharge électrique. Entre 1924 et 1935, L. Vegard a poursuivi à Leyde et à Oslo, des recherches importantes sur les spectres de gaz condensés, descendant jusqu'à la température de 4,2° K, lors de bombardements par électrons ou

par ions [8]. Il cherchait surtout à vérifier certaines hypothèses sur l'origine de phénomènes astronomiques comme les aurores boréales, où l'on voyait des réactions de radicaux libres. J. C. McLennan, a poursuivi indépendamment à Toronto des études analogues [9].

Pendant la deuxième période, on a élaboré les mécanismes de réactions en chaînes avec radicaux libres et étudié l'effet des surfaces froides sur ces mécanismes. Il faut citer ici les noms de M. Bodenstein et F. Haber. Plus tard, Geib et Harteck associent leurs efforts à ceux de ces chercheurs, et s'intéressent à la formation d'eau oxygénée dans diverses conditions, à basse température. Ils cherchent à opérer la condensation des produits formés lors de la décharge électrique dans la vapeur d'eau, la vapeur d'eau oxygénée, le mélange d'hydrogène et d'oxygène et l'ammoniac. Tout récemment, ces recherches se sont rapprochées de celles de Giguère et Winkler [10], qui étudient des produits de décharge, et de celles d'Everett et Minkoff qui refroidissent rapidement des produits d'explosion.

La troisième période, qui se poursuit actuellement, commence avec les travaux de F. O. Rice, le premier sans doute qui soit parti avec l'idée délibérée de capter des radicaux très réactifs dans des solides, et qui ait prouvé définitivement qu'on pouvait retenir sur des surfaces froides des espèces chimiques instables, après refroidissement, et condensation rapide des corps générateurs décomposés [11]. La possibilité de déceler physiquement les radicaux libres — par résonance de spin électronique, mesure de susceptibilité électronique, spectroscopie optique et spectroscopie de masse — a vivement encouragé les chercheurs à étudier les radicaux emprisonnés dans les solides.

TECHNIQUES EXPÉRIMENTALES

Pour illustrer les divers types de phénomènes qui ont suscité tant d'intérêt, le mieux est sans doute de décrire certaines des expériences les plus frappantes. La condensation à très basse température, au-dessous de 25° K, des produits résultant du passage de la décharge électrique à travers l'azote, est particulièrement spectaculaire. C'est une expérience assez simple, facile à reproduire, et qui donne une idée exacte des techniques et des problèmes propres au domaine des radicaux en cage. Aussi la décrirons-nous avec quelque détail.

De l'azote, sous environ 1 mm de mercure, traverse un tube à décharge sans électrodes, alimenté par une source de 125 W et 2 450 Mc/s. En moins de 0,1 sec les produits de la décharge — essentiellement des atomes et des molécules d'azote — sont amenés par une pompe sur une surface en Pyrex maintenue au voisinage de 4,2° K par de l'hélium liquide (figure 6).

On a étudié pendant bien des années ces produits de la décharge dans l'azote, appelés «azote actif» [12]. Dans une salle obscure, ce gaz «actif» apparaît comme une luminescence jaune qui remplit le tube en aval de la décharge (figure 5). Dès que l'«azote actif» heurte la surface froide, on voit apparaître une luminescence verte brillante et chaude (figure 7). Si l'on interrompt le courant d'«azote actif», une lueur verte «postluminescence») persiste plusieurs minutes sur le solide froid (figure 8). Aussi bien pendant le dépôt qu'après disparition de cette luminescence, on peut voir un solide blanc (figure 9) en lumière réfléchie. Si on le chauffe jusque vers 10° K, il émet une lumière verte (luminescence de réchauffement) (figure 14). Si on poursuit le chauffage jusqu'à 30° K, il apparaît une luminescence bleue (figure 17). En présence d'argon, le solide déposé se détache souvent de la surface en Pyrex (figure 18) après la fin de la luminescence.

L'addition d'une faible quantité d'oxygène à l'azote avant la décharge fait passer la luminescence du vert au jaune (figure 11). Cet effet est plus marqué à température plus élevée. Si la concentration en oxygène dépasse quelques unités pour cent, la luminescence du solide disparaît. En présence d'un excès d'argon, la luminescence du solide pendant le dépôt est bleue (figure 12). Lorsque l'écoulement gazeux est rapide, on observe parfois une faible luminescence dans le gaz au voisinage du solide (figure 19).

Pendant le dépôt, il y a aussi des scintillations brillantes bleues et jaunes à la surface du solide. Des photographies en couleurs, prises à la vitesse de 16 par seconde, indiquent que les scintillations se développent localement. On observe parfois des petites taches, où se produit une réaction intense, qui se déplacent assez rapidement dans le solide (figure 20). Ces régions restent sensiblement les mêmes dans une expérience déterminée. La reproductibilité vient sans doute en partie de gradients de température et d'imperfections dans le solide. La chaleur libérée est parfois si grande que tous les produits réactifs sont détruits, et que la lumière émise suffit à surexposer complètement une photographie du film.

On a plus de détails sur l'émission lumineuse en examinant les spectres dans différentes conditions. On verra sur les figures 2–4 ceux de la lumière émise pendant le dépôt. Les caractéristiques les

plus remarquables sont les systèmes α (vert) et β (jaune) que la figure 3 montre avec plus de détails. Le groupe α intense, ensemble de cinq raies fines, voisines de 5 230 Å, est presque certainement émis par des atomes d'azote. Il correspond à une transition de l'état électronique ^2D à l'état fondamental ^4S. Les groupes α′ plus faible et α″ beaucoup plus faible (figure 4*a*) se manifestent lorsque α est très intense, et sont peut-être associés à la formation d'un complexe lâche entre N et N_2. Le groupe β consiste en 3 lignes fines, voisines de 5 575 Å, et correspond sans doute à la transition ^1S–^1D de l'oxygène atomique. Entre 3 572 et 6 390 Å, on observe les bandes A à tête nette (figures 2*b*, 4*b*). L'origine des bandes larges B (figures 2*c*, 4*c*) est inconnue. Elles sont peut-être liées à NO_2. L'émission bleue, en présence d'un excès d'argon (figure 12) est due à une série de bandes fines qui commence à 4 450 Å, et s'étend jusqu'à l'ultra-violet (figure 2*d*). On les appelle «système Vegard-Kaplan». Elles correspondent aux transitions $A^3\Sigma$ à $X^1\Sigma$ de l'azote moléculaire. Elles sont également émises pendant le réchauffement bleu (figure 17) en présence d'un excès d'argon. Avec moins de 20% d'azote dans l'argon, il apparaît un système de bandes moléculaires non identifié, relativement intense (bandes M des figures 2*d* et 4*d*). L'argon provoque aussi un déplacement des raies β, et une grande variation des intensités relatives des raies α (figure 3).

A la fin du dépôt d'azote, quand le solide commence à se réchauffer, le spectre varie considérablement (voir figure 21). Sur les premières prises de vues après la fin de la décharge (post-luminescence, figure 14), on voit diminuer l'intensité des raies α de l'azote atomique (vues 1–6, figure 21). Cependant, avec la disparition de l'hélium liquide (vue 6), l'intensité d'α augmente avec celle des raies β de l'oxygène atomique. C'est la luminescence verte de réchauffement (figure 15). Au-dessus de 25° K, il y a émission des bandes B, ce qui est à l'origine de la luminescence bleue de réchauffement (figure 16). Au-dessus de 30° K, l'émission est très diminuée (vue 18, figure 21).

Au cours du réchauffement des produits de la décharge dans l'azote, condensés à 4,2° K, il y a un dégagement de chaleur considérable. Si on admet qu'il est dû à la recombinaison des atomes d'azote, sa mesure permet de connaître le nombre d'atomes emprisonnés dans le solide. Mais jusqu'à présent, on n'a pu employer que des méthodes calorimétriques exceptionnelles et pas trop précises, à cause de difficultés inhérentes à la méthode de capture des radicaux. Il faut qu'il y ait un bon contact thermique avec le réservoir à 4,2° K pendant le dépôt, pour éviter la perte d'espèces actives à des températures plus élevées. De plus, il faut que le calorimètre soit isolé thermiquement pendant le réchauffement du dépôt solide. Enfin, il faut que le calorimètre ait une ouverture relativement grande pour qu'on puisse y introduire l'«azote actif» sans détruire

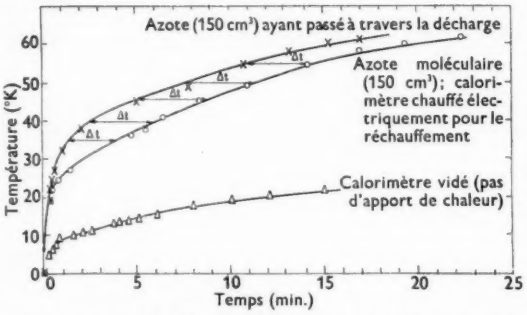


FIGURE 1 – *Courbes de réchauffement pour l'azote moléculaire, et celui qui a traversé la décharge (chauffage électrique), et pour le calorimètre vide.*

l'espèce active. Il n'est pas facile de répondre à toutes ces exigences, et il faut réaliser un compromis. Dans un cas, on réchauffe rapidement par chauffage électrique et on compare les temps respectifs nécessaires pour arriver à une certaine température «élevée», avec de l'azote ordinaire, et une masse égale d'azote soumis à la décharge électrique. On verra sur la figure 1 les courbes de réchauffement habituelles. Le réchauffement est plus rapide quand l'azote a traversé la décharge; ceci correspond à une concentration en atomes de quelques unités pour cent [13].

CONNAISSANCES ACTUELLES SUR LES RADICAUX LIBRES EN CAGE

Soulignons que le sujet est nouveau, et qu'il passe actuellement par une phase de développement rapide. Sans doute y aurait-il beaucoup de détails à apporter à cette brève revue. Cependant, les résultats essentiels doivent persister: (1) on peut emprisonner dans les solides à basse température les radicaux libres d'origines diverses; (2) à des températures assez basses, on peut ainsi les conserver indéfiniment; (3) ces radicaux en cage à basse température peuvent dégager de la lumière, de la chaleur, et réagir chimiquement.

On a la preuve qu'il est possible de capter trois radicaux libres atomiques, les atomes d'hydrogène, d'azote et d'oxygène. C'est l'étude de la résonance

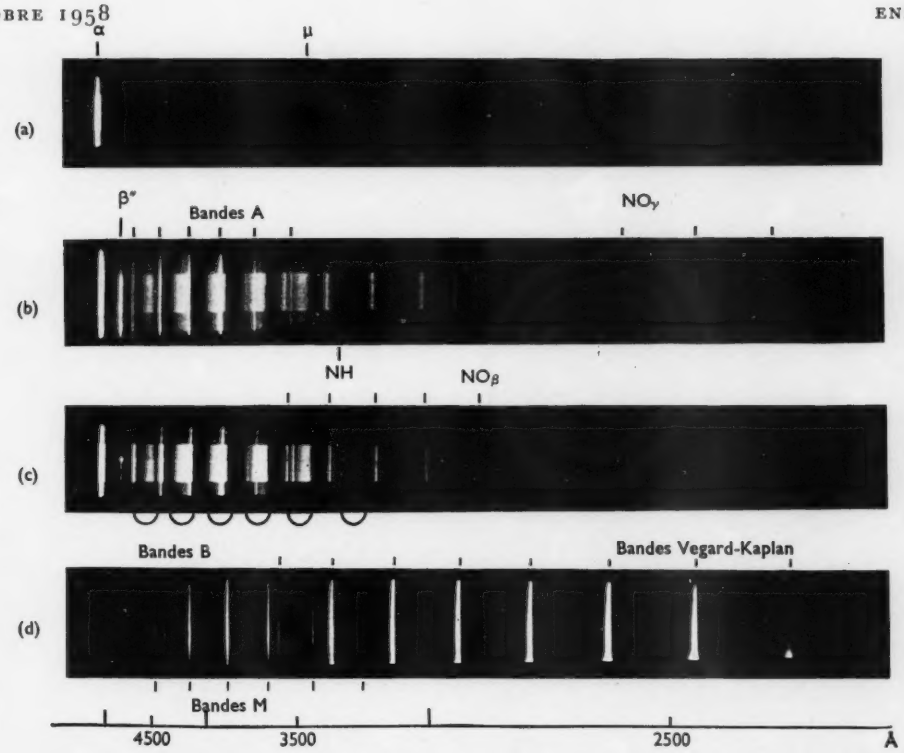
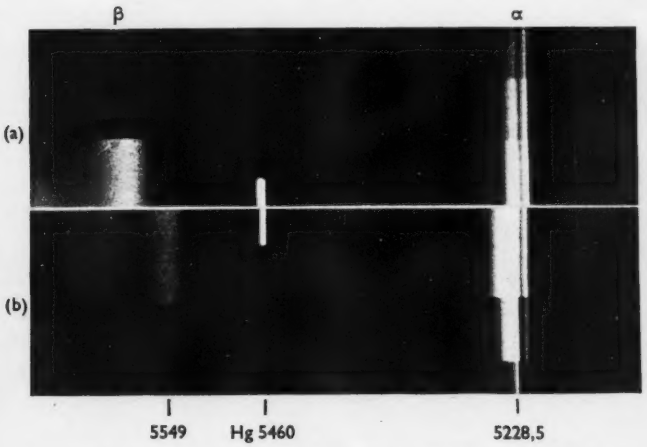


FIGURE 2 – *Spectre de solides durant le dépôt à 4,2° K; spectrographe à prisme de quartz f/4; plaques 102 a-O;* (a) *azote pur;* (b) *azote commercial;* (c) *azote pur avec 0,1% d'oxygène;* (d) *mélange, azote 5%, argon 95%. Vitesses du courant gazeux: 1,5 cm³/sec pour* (a), (b) *et* (c), *2 cm³/sec pour* (d). *Expositions: 1 min. et 3 min. pour* (a), (b) *et* (c), *3 min. pour* (d).



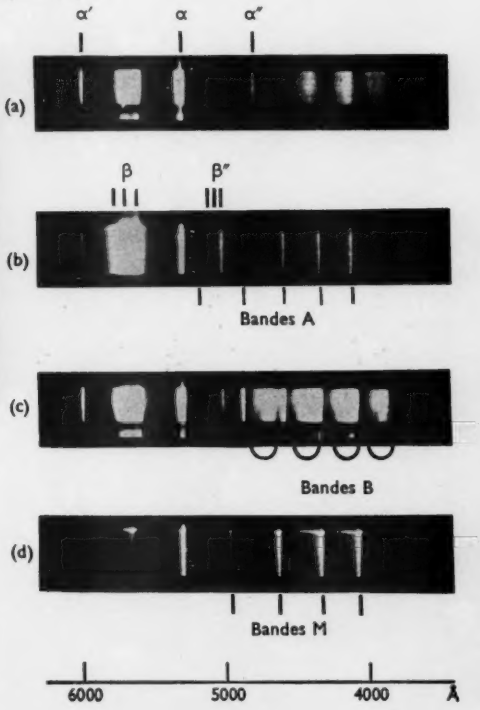


FIGURE 3 – *Spectre de solides pendant le dépôt à 4,2° K; spectrographe à prisme de verre f/10; plaque 103 a-F;* (a) *mélange, azote 5%, argon 95%; vitesse du courant gazeux 2 cm³/sec; exposition 7, 14, 23 min.* (b) *azote pur avec 0,1% d'oxygène; vitesse du courant gazeux 1,5 cm³/sec; exposition 3, 9, 27 min.*

FIGURE 4 (*à droite*) – *Spectre de solides, durant le dépôt à 4,2° K; spectrographe à réseau de verre f/0,625; film 103 a-F;* (a) *azote pur;* (b) *azote commercial;* (c) *azote pur avec 0,1% d'oxygène;* (d) *mélange, azote 5%, argon 95%. Vitesses du courant gazeux: 1,5 cm³/sec pour* (a) *et* (c), *1,8 cm³/sec pour* (b), *2 cm³/sec pour* (d). *Expositions: 80 sec pour* (a) *et* (c), *5 sec pour* (b) *et* (d).

FIGURE 5 – *Luminescence de l'azote, contenant des traces d'oxygène, après passage à travers une décharge.*

FIGURE 6 (*à droite*) – *La surface en Pyrex sur laquelle on condense les produits de décharge. La chambre commence à se remplir d'hélium liquide.*

FIGURE 7 – *Azote, décharge en cours.*

FIGURES 7–20 – *Photographies en couleurs*[1] *de luminescences produites dans des solides condensés à partir d'azote. Durée d'exposition voisine de la seconde.*

FIGURE 8 – *Azote, pas de dépôt, décharge interrompue, post-luminescence.*

FIGURE 9 – *Solide vu en lumière réfléchie.*

FIGURE 10 – *Mélange d'azote et d'argon, décharge en cours.*

FIGURE 11 (*à gauche*) – *Azote avec un peu d'oxygène, courant gazeux relativement rapide, décharge en cours.*

FIGURE 12 (*à droite*) – *Azote avec un excès d'argon. Décharge en cours.*

[1] *Photographies faites par M. Warren P. Richardson,* Photographic Services Section, National Bureau of Standards.

FIGURE 13

FIGURE 14

FIGURE 15

FIGURE 16

FIGURE 17

FIGURE 18 – *Solide vu en lumière réfléchie peu après la photographie de la figure* 17.

FIGURES 13–18 – *Suite de photographies prises immédiatement après celle de la figure* 10, *à des intervalles voisins de* 5 *secondes pendant le réchauffement d'un mélange d'azote et d'argon. Pas de courant gazeux.*

FIGURE 19 (*à gauche*) – *Azote et argon. Ecoulement rapide. Décharge en cours.*

FIGURE 20 (*à droite*) – *Eclair bleu observé durant le dépôt. Durée d'exposition voisine de* 0,04 *sec.*

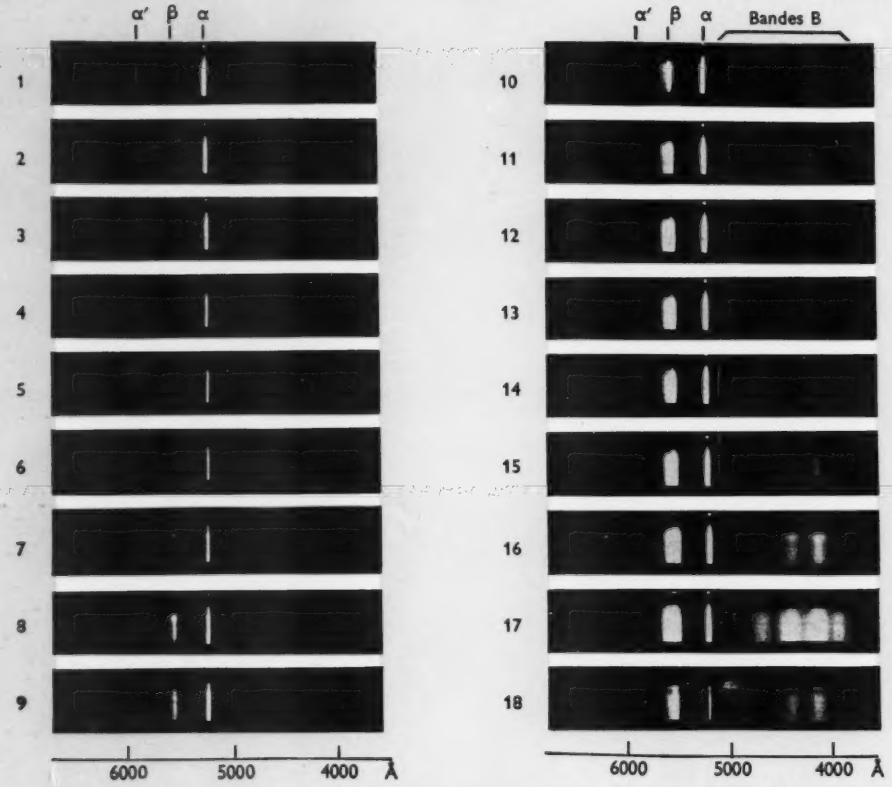


FIGURE 21 – *Spectres au cours de la post-luminescence et du réchauffement d'azote solide contenant 40% d'argon. Spectrographe à réseau de verre f/0,625; film 103 a-F; chaque vue correspond à un temps d'exposition de 10 sec avec 5 sec d'intervalle entre les prises de vues consécutives; vues 1–6, post-luminescence; 7–16, période de réchauffement jaune-vert; 17–18, période bleue.*

de spin électronique qui fournit la preuve la moins ambiguë de l'existence d'électrons non appariés, et prouve ainsi qu'on peut conserver H [14] et N [15] dans des solides à basse température. On a obtenu des atomes d'hydrogène par décharge dans le gaz, avant le dépôt, à une concentration estimée voisine de 0,1% dans H_2 solide à 4,2° K. On a irradié à 77° K divers acides avec les rayons γ du cobalt 60, et obtenu ainsi des atomes d'hydrogène en cage. Leur concentration n'avait pas varié après plusieurs mois de conservation à 77° K. La spectroscopie optique d'émission a mis en évidence des atomes emprisonnés d'oxygène et d'azote [16]. D'après des preuves d'ordre chimique [17], c'est-à-dire en interprétant la composition des mélanges obtenus par réchauffement, on estime que la concentration de ces radicaux atomiques, emprisonnés dans les solides à 20° K est de quelques unités pour cent. Ceci est confirmé par les expériences calorimétriques [13].

On a fait beaucoup de recherches sur le radical NH dans les solides. Rice et ses associés [11] ont longuement étudié les produits de décomposition de l'acide azothydrique, par photolyse, pyrolyse et décharges électriques. En condensant ces produits sur une surface refroidie à 77° K, on obtient un dépôt bleu brillant. Par chauffage, il y a un brusque virage au blanc à 150° K, parfois accompagné d'une explosion violente. En examinant les composés formés, en s'appuyant sur des observations spectroscopiques dans l'infra-rouge et l'ultraviolet, on peut admettre qu'il a dû y avoir des radicaux NH à quelque moment. On ne peut pas les mettre en évidence par spectrophotométrie de masse dans le gaz avant le dépôt du solide bleu, ce qui laisse penser que leur concentration dans le solide est très faible.

On a capté de nombreux radicaux organiques, détectés par spectroscopie optique et résonance de spin électronique. Norman et Porter ont préparé

un certain nombre de radicaux emprisonnés dans les «verres» appropriés à partir d'hydrocarbures solides, à 77° K, par photolyse en lumière ultra-violette et décelé leur présence par spectroscopie ultra-violette. On a préparé un grand nombre de radicaux organiques par photolyse, et révélé leur présence par leur spin d'électron libre, au moyen de mesures de résonance de spin électronique. Les spectres sont habituellement si compliquées que l'identification précise des radicaux n'est pas possible. Toutefois, on a identifié avec certitude les radicaux méthyl, éthyl et allyl [19], emprisonnés dans divers solides.

ÉTAT ACTUEL. PERSPECTIVES D'AVENIR

Ces dernières années, on a compris les possibilités intéressantes des radicaux en cage. Bien des chercheurs s'intéressent à cette question, dont on aborde actuellement l'étude détaillée. Il s'agit d'abord, en gros, d'étudier les méthodes de production. On cherche à utiliser la pyrolyse, la décharge électrique et les réactions chimiques, suivies d'un refroidissement et d'une condensation rapide. On peut alternativement faire appel à la photolyse, à l'irradiation γ, ou au bombardement par particules à haute énergie pour produire les radicaux directement dans un solide froid.

Il faut ensuite démontrer l'existence de radicaux libres et mesurer leur concentration. Les méthodes les plus fructueuses, et les plus généralement employées sont l'étude de la résonance de spin électronique, la spectroscopie optique (de 1 400 Å à 25 μ), et la calorimétrie. Cependant, on construit actuellement des appareils de spectroscopie de masse, de mesure de susceptibilité magnétique, de diffraction des rayons X, de diffraction électronique et de mesure diélectrique, qui seront vite utilisés à l'étude de ces problèmes.

L'étude de ce qui se passe au cours du réchauffement du solide qui contient les radicaux libres en cage, demandera aussi des recherches particulières. On met au point des méthodes chimiques d'analyse des produits, et on étend vers les basses températures le champ d'application des méthodes habituelles de la cinétique pour connaître les réactions intermédiaires. On analyse le dégagement de chaleur en fonction de la température pendant le réchauffement pour déterminer les vitesses de diffusion et les entités chimiques initialement présentes dans le solide. Lorsqu'il y a émission de radiation pendant le réchauffement, cela aide à comprendre le mécanisme des réactions.

Quelles seront les conséquences de ces études? Quelques idées commencent à poindre sur le rôle de divers facteurs du domaine de la chimie, de la statistique, de la physique du solide. Il semble que l'emploi de radicaux libres comme traceurs augmentera nos connaissances sur l'état solide, car une perturbation déterminée, le radical libre, peut être introduite dans des solides moléculaires normaux. En plus, l'étude des réactions des radicaux emprisonnés va peut-être amorcer un nouveau chapitre de la chimie des basses températures.

BIBLIOGRAPHIE

[1] STEACIE, E. W. R. «Atomic and Free Radical Reactions». Reinhold Publishing Corporation, New-York. 1954.

[2] GAYDON, A. G. «The Spectroscopy of Flames». Chapman and Hall Ltd., Londres. 1957.
PORTER, G. *Endeavour*, **16**, 224, 1957.

[3] LOSSING, F. P. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **67** (9), 499, 1957.

[4] LEWIS, G. N., LIPKIN, D. et MAGEL, T. *J. Amer. chem. Soc.*, **63**, 3005, 1941.

[5] BROIDA, H. P. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **67** (9), 530, 1957.

[6] DEWAR, J. *Proc. roy. Soc.*, **68**, 360, 1901.

[7] STRUTT, R. J. *Ibid.*, **86**, 56, 1911–12.

[8] VEGARD, L. *Ann. Phys.*, **6**, 487, 1930.
VEGARD, L. et STENSHOLT, S. *Skr. norske Vidensk-Akad.*, **1**, (9), 1935.

[9] MCLENNAN, J. C., SAMSON, E. W. et IRETON, H. J. C. *Trans. roy. Soc. Can.*, **23**, 25, 1929.

[10] JONES, R. A. et WINKLER, C. A. *Can. J. Chem.*, **29**, 1010, 1951.

[11] RICE, F. O. et FREAMO, M. *J. Amer. chem. Soc.*, **73**, 5529, 1951; **75**, 548, 1953.

[12] MITRA, S. K. «Active Nitrogen—A New Theory». Indian Association for the Cultivation of Science, Calcutta. 1945.
BERKOWITZ, J., CHUPKA, W. A. et KISTIAKOWSKY, G. B. *J. chem. Phys.*, **25**, 457, 1956.

[13] MINKOFF, G. J., SCHERBER, F. I. et GALLAGHER, J. S. (Publication prochaine.)

[14] LIVINGSTON, R., ZELDES, H. et TAYLOR, E. H. *Disc. Faraday Soc.*, No. 19, 166, 1955.
JEN, C. K., FONER, S. N., COCHRAN, E. C. et BOWERS, N. A. *Phys. Rev.*, **104**, 846, 1956.

[15] COLE, T., HARDING, J. T., PELLAM, J. R. et YOST, D. M. *J. chem. Phys.*, **27**, 593, 1957.

[16] HERZFELD, C. M. et BROIDA, H. P. *Phys. Rev.*, **101**, 606, 1956.
BROIDA, H. P. et PEYRON, M. *J. Phys. Rad.*, **18**, 593, 1957; **19**, 1958.

[17] RUEHRWEIN, R., EDWARDS, J. W. et HASHMAN, J. (Publication prochaine.)

[18] NORMAN, I. et PORTER, G. *Proc. roy. Soc., A*, **230**, 399, 1955.

[19] SMALLER, B. et MATHESON, M. S. *J. chem. Phys.*, **28**, 1169, 1958.

Le repérage des satellites artificiels, son but et les méthodes utilisées

par E. G. C. BURT

Les satellites terrestres contiennent des instruments qui permettent la transmission d'une importante quantité d'informations depuis l'espace situé au-delà de l'atmosphère. L'information est d'intérêt d'autant plus grand que la position des satellites est mieux définie et de plus, les trajectoires fournissent sur la Terre elle-même un certain nombre d'intéressantes données. Les méthodes utilisées et les résultats obtenus sont discutés dans cet article.

L'avènement du satellite terrestre au rang de laboratoire de l'espace a révélé de nouvelles possibilités à de nombreuses branches de la recherche: les spécialistes du rayonnement solaire, des phénomènes géophysiques, des rayons cosmiques, pour n'en citer que quelques-uns, tous se disputent la capacité limitée du laboratoire satellite et tous comptent sur l'efficience des instruments qu'il emporte. Il y a cependant beaucoup à gagner à connaître la course du satellite à travers l'espace; celle-ci peut être déduite des observations terrestres indépendamment des instruments du satellite. Mise à part sa valeur intrinsèque, les informations relatives à l'orbite facilitent l'interprétation des autres données: les mesures de température et de l'intensité du rayonnement cosmique, par exemple, sont beaucoup plus précieuses lorsqu'elles se rapportent à un instant et à un lieu déterminés.

MÉTHODES RADIOÉLECTRIQUES

Il existe plusieurs systèmes de repérage des satellites et tous sont utiles en certaines circonstances. Si le satellite transporte un émetteur radio, différentes méthodes sont possibles dans la détermination de sa position. Ces techniques sont particulièrement bien adaptées lorsque le véhicule de l'espace en est au début de son existence, au moment où sa trajectoire est peu connue; l'émetteur indique la position dans une zone très étendue, de sorte que la localisation ne nécessite aucune connaissance a priori de l'orbite.

Le système le plus simple est probablement celui qui utilise l'effet Doppler-Fizeau. Si l'émetteur du satellite envoie une onde continue, non modulée, de fréquence fixe, la fréquence du signal reçu au sol varie en fonction de la vitesse relative du satellite par rapport à la station d'observation. Les fréquences émises et reçues, f_0 et f, sont liées par la relation: $f=f_0(1+\dot{s}/c)$ où c est la vitesse de la lumière et s la distance du satellite à l'observatoire. Si la fréquence est enregistrée lorsque le satellite s'approche, puis s'éloigne, la vitesse radiale $\dot{s}$ peut être calculée à partir de $\dot{s}=c(f-f_0)/f_0$.

Au moment où la proximité est la plus grande, la vitesse radiale sera nulle car le vitesse relative V_R est normale à la direction de visée (figure 1); t secondes plus tard, le satellite aura parcouru $V_R t$, de sorte que $s^2=s_0^2+V_R^2t^2$ où s_0 est la distance minimum. En différenciant cette équation par rapport au temps, il vient: $t^2/\dot{s}^2=s_0^2/V_R^4+t^2/V_R^2$ et par conséquent la courbe de $t^2/\dot{s}^2$ en fonction de t^2 doit être une droite. On en tire V_R et s_0.

La figure 2 montre un résultat typique, obtenu au début de la course du premier Spoutnik (15 octobre 1957). Les mesures Doppler-Fizeau ont été effectuées par la *Post Office Radio Station* de Banbury.

On peut trouver la période orbitale en observant les passages successifs au-dessus d'une même station. Cependant la période n'est pas une fonction simple, à cause de la différence entre les instants de proximité maximum: une correction doit être appliquée pour tenir compte du fait que dans l'intervalle, la rotation de la Terre a fait varier la position relative de l'observateur par rapport à l'orbite du satellite.

La précision avec laquelle l'orbite peut être déterminée à partir des données Doppler-Fizeau dépend entre autres facteurs, de la distance du satellite aux stations d'observation et des stations entre elles. Pour une triangulation favorable, les distances doivent être du même ordre, mais cette triangulation ne peut être réalisée sans l'active coopération du satellite lui-même, à moins qu'on ne dispose d'un grand nombre de stations en opération. Pour les distances qui entrent en jeu (normalement quelques centaines de kilomètres)

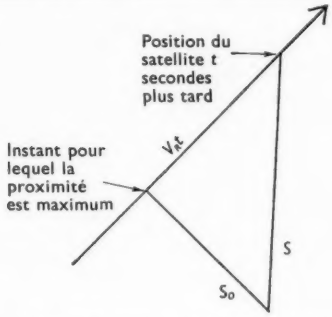


FIGURE 1 – *Relation entre la distance et la vitesse relative.*

les courbures de l'orbite et de la Terre sont trop importantes pour qu'on puisse les négliger et ceci complique beaucoup l'analyse.

La réfraction des ondes radioélectriques dans l'ionosphère peut introduire des erreurs considérables, en particulier aux basses fréquences [1]. L'émission à 20 Mc/s et 40 Mc/s des deux premiers Spoutniks, par exemple, a conduit fréquemment à des estimations différentes de la position du satellite sauf lorsqu'il passait presque au zénith, en ce dernier cas les chemins optiques et électriques coïncident à peu près. Du point de vue repérage, la fréquence 108 Mc/s utilisée pour les satellites américains, est beaucoup plus satisfaisante; mais sans nul doute les émissions à 20 Mc/s et 40 Mc/s des Spoutniks fournissent un excellent moyen d'étude des phénomènes de l'ionosphère, en particulier si la trajectoire réelle peut être établie indépendamment.

La radio-interférométrie constitue une seconde

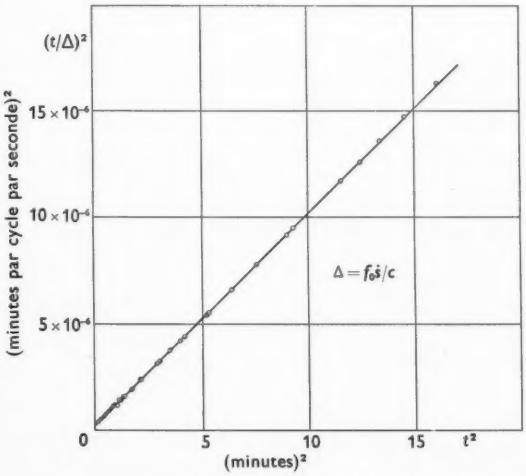


FIGURE 2 – *Détermination de V_R et s_0 à partir des données Doppler-Fizeau.*

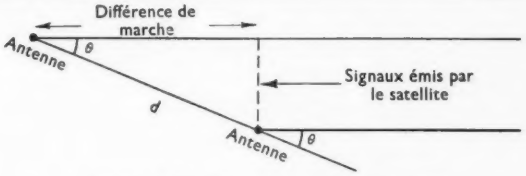


FIGURE 3 – *Principe de l'interféromètre.*

méthode de repérage utilisée avec succès. Contrairement au système Doppler-Fizeau qui mesure la vitesse radiale, l'interféromètre fournit une information directionnelle et ainsi les deux méthodes sont complémentaires. Comme son nom l'indique, l'interféromètre met en œuvre la figure d'interférence des signaux reçus par deux antennes, cette figure d'interférence étant déterminée par la différence de marche entre le satellite et l'une et l'autre antennes. La distance entre les deux antennes — soit 50 ou 100 mètres — est très faible comparée à la distance du satellite, et les ondes provenant de l'émetteur, peuvent être considérées comme parallèles (figure 3).

Si l'angle correspondant à la position du satellite est tel que la différence de marche soit exactement égale à une demi-longueur d'onde, c'est-à-dire, si $d \cos \theta = \lambda/2$, le signal de sortie dû à l'ensemble des deux antennes est nul, puisque les deux ondes interfèrent complètement. Evidemment ceci se produit aussi lorsque la différence de marche est égale à un nombre impair de demi-longueurs d'onde: à mesure que le satellite se déplace sur son orbite, le changement de direction de la radiation incidente produit une succession de zéros, la figure d'interférence dépendant de la direction du trajet par rapport à la ligne joignant les deux antennes. L'intervalle qui sépare deux zéros successifs correspond à un accroissement λ/d de $\cos \theta$; de cette façon l'enregistrement des instants auxquels se produisent les zéros donne immédiatement la variation relative du cosinus directeur.

Au lieu d'additionner simplement les signaux des deux antennes il est préférable de mesurer leur différence de phase; ainsi $\cos \theta$ est indiqué de manière continue [2] et en même temps, la mesure est à peu près indépendante des fluctuations d'amplitude.

L'interféromètre n'étant pas sensible aux changements de différence de marche d'un nombre entier de longueurs d'onde, la mesure de l'angle θ présente des ambiguïtés qui deviennent d'autant plus fréquentes que la distance entre les antennes augmente. Elles sont levées par la connaissance approximative de la marche du satellite obtenue

d'une autre source, par exemple un deuxième interféromètre dont les antennes sont beaucoup plus rapprochées l'une de l'autre. On obtient ainsi une indication «grossière» puis une indication «fine». Le système «fin» obtenu pour une plus grande séparation est évidemment plus précis puisqu'une différence de phase électrique donnée correspond à un accroissement plus faible de cos θ; mais ceci ne peut être poursuivi très loin car la mesure de la phase devient plus difficile lorsque la séparation augmente.

Un autre cosinus directeur peut être déduit d'un ensemble identique placé à angle droit du premier; il est alors possible de définir la direction de la ligne joignant la station d'observation au satellite lors du passage de celui-ci. Pour déduire l'orbite, d'autres informations sont nécessaires, telles que la distance et la vitesse relative fournies par les données Doppler-Fizeau, ou les directions à partir d'interféromètres situés à d'autres endroits. A défaut, un certain nombre d'hypothèses doivent être faites relatives à l'orbite.

On a trouvé que ces techniques radioélectriques donnaient des renseignements particulièrement intéressants sur l'orbite; en fait l'orbite du premier Spoutnik a été déterminée uniquement, et avec une bonne approximation, par les méthodes radio [3, 4] en dépit de l'inconvénient des basses fréquences de 40 Mc/s, tandis que la radio-interférométrie constitue la méthode courante de repérage des satellites américains, équipés par des émetteurs travaillant à 108 Mc/s.

Malheureusement les méthodes radio exigent la collaboration active du satellite: si l'émetteur cesse de fonctionner, il en est de même des stations Doppler-Fizeau et d'interférométrie. L'émetteur du Spoutnik I s'est arrêté quelque trois semaines après le lancement, tandis que celui du Spoutnik II a duré moins d'une semaine. L'emploi des batteries solaires qui emmagasinent le rayonnement solaire sous forme énergétique a largement augmenté la durée d'existence d'un tel équipement mais le risque de panne électrique ou mécanique n'en subsiste pas moins et il est prudent de rechercher d'autres méthodes tenant compte de cette éventualité.

REPÉRAGE PAR RADAR

Il est possible de laisser l'émetteur au sol et d'utiliser le satellite comme réflecteur d'énergie: c'est le principe du radar. Etant données la distance considérable et la surface réfléchissante réduite, un écho suffisant ne peut être obtenu que si la puissance rayonnée est localisée dans un faisceau étroit — ce qui veut dire un système d'antenne important et un champ de faible ouverture. Ainsi, à moins que l'orbite ne soit bien connue, il est difficile d'assurer que le faisceau sera correctement dirigé vers le ciel au moment voulu. Le grand télescope de Jodrell Bank [5], entre autres [6], a été utilisé dans ces conditions; la méthode présente ce double avantage de l'indépendance de l'équipement initial du satellite et des conditions locales du temps, avantages dont ne jouissent ni les méthodes radio ni les méthodes visuelles.

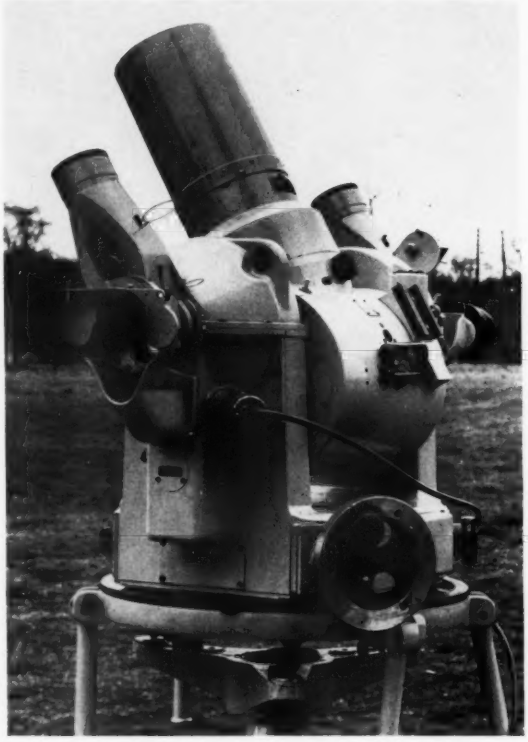


FIGURE 4 – *Ciné-théodolite.*

TECHNIQUES OPTIQUES

Les observations optiques, cependant, ont joué le rôle principal dans la détermination précise des orbites pour les satellites visibles. Spoutnik III et sa fusée porteuse, par exemple, sont tous deux facilement détectables à l'œil nu; pour ceux qui ont connu Spoutnik II, il était devenu un objet familier au cours de son séjour de six mois dans le ciel. Un grand nombre de méthodes ont été utilisées, des observations à l'œil nu et au chronomètre, aux techniques télescopiques et photographiques les plus avancées. La valeur des

premières est inestimable du point de vue des prédictions, puisqu'elles ne nécessitent aucune interprétation longue des résultats, il est ainsi possible de prévoir avec une bonne précision la position probable du satellite lors de ses prochains passages, ce qui constitue une aide importante dans la préparation des observations au moyen d'instruments plus précis.

Parmi ces derniers, le ciné-théodolite a donné d'excellents renseignements sur le deuxième et le troisième satellite russe. Cet instrument d'optique (figure 4) est manœuvré par deux opérateurs, l'un suit l'azimuth et l'autre l'angle de site. Une caméra rapide photographie les échelles à intervalles réguliers, enregistrant ainsi l'azimuth et le site, tandis que simultanément le satellite est photographié par un téléobjectif installé sur le ciné-théodolite. Le but de cette dernière opération est de tenir compte des erreurs de repérage: le déplacement de l'image du satellite sur la photographie permet une correction des angles d'azimuth et de site. Les prises de vue sont contrôlées par un système d'horlogerie précis qui permet cinq images par seconde environ; ainsi quelques centaines de clichés sont enregistrés à chaque passage. Ces appareils ont été beaucoup utilisés par les différentes stations du *Ministry of Supply* lors de l'établissement de l'orbite de Spoutnik II; dans de bonnes conditions, on a réalisé une précision de 20 secondes d'arc, avec une erreur de chronométrage inférieur à 20 millisecondes.

Toutes les méthodes décrites sont valables pour la détermination du déplacement ou de la direction du satellite vu d'un point à la surface de la Terre — en général l'une des stations d'observation — et ce point tourne avec la Terre. Mais le mouvement diurne de la Terre ne joue aucun rôle dans la marche du satellite: celle-ci est déterminée par l'attraction gravitationnelle dirigée (en première approximation) vers le centre de la Terre, donc la description la plus simple de l'orbite est faite dans un système de référence non en rotation, ayant pour origine le centre de la Terre.

Le transfert de l'information des coordonnées topocentriques aux coordonnées géocentriques est quelquefois compliqué. Le traitement le meilleur consiste à utiliser une machine à calculer qui peut être programmée de manière à réduire les effets des erreurs aléatoires d'observation. Un programme élaboré dans ce but par R. H. Merson [7] rend le calcul aisé: à partir des données du ciné-théodolite par exemple, la machine calcule les estimations les plus probables des éléments de l'orbite: la dimension et la forme de l'ellipse (car l'orbite est approximativement elliptique) et son orientation dans l'espace.

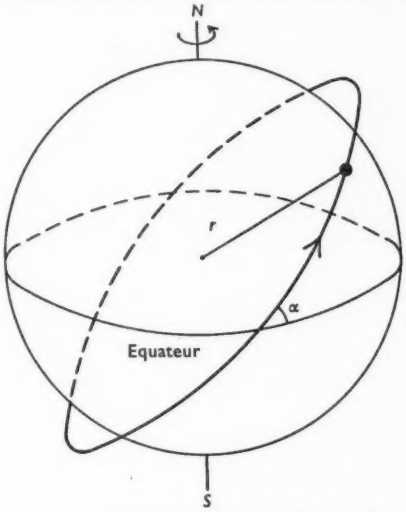


FIGURE 5 – *Inclinaison du plan orbital.*

LES PERTURBATIONS ORBITALES

Les satellites qui se meuvent actuellement autour de la Terre transportent une gamme d'instruments qui permettent d'étudier les différentes conditions physiques de l'espace, et sont pourvus d'appareillages de transmission des renseignements vers la Terre. Comparée à la masse d'informations recueillies de cette façon, la contribution des méthodes de repérage apparaît insignifiante. En fait, il en serait ainsi si la Terre était sphérique et sans atmosphère; la connaissance des orbites des satellites au voisinage de la Terre serait alors d'intérêt restreint. Mises à part les perturbations faibles dues au soleil et aux autres astres du système solaire, la trajectoire serait une ellipse dont le centre de la Terre occuperait l'un des foyers (figure 5); de plus l'ellipse conserverait une orientation constante dans l'espace. Cependant la présence de l'atmosphère et l'aplatissement léger de la Terre au voisinage des pôles introduisent des modifications à ce schéma simplifié; modifications qui, si elles sont mesurées avec précision, projetteront quelque lumière sur les phénomènes qui en sont la cause. Il est heureux que les effets sur l'orbite de la résistance atmosphérique et de l'aplatissement de la Terre soient tout à fait distincts (au moins en première approximation) car chacun des effets peut être attribué à sa cause sans aucune ambiguïté.

La distribution non uniforme de la masse de la Terre donne lieu à un champ gravitationnel qui n'est pas inversement proportionnel au carré de la distance radiale. Le potentiel gravitationnel extérieur peut s'exprimer suivant une série d'harmoniques sphériques [8], les coefficients de chaque harmonique dépendant de la forme et de la distribution massique de la Terre; si les coefficients peuvent être déterminés, il sera alors possible d'en déduire la forme de la Terre.

INFLUENCE DE L'APLATISSEMENT DE LA TERRE

Les effets d'une telle force non-centrale sur l'orbite d'un satellite proche de la terre ont été étudiés théoriquement [9] en supposant la Terre représentée par un ellipsoïde dont le champ gravitationnel serait indépendant de la longitude et symétrique par rapport au plan équatorial. On a trouvé que l'orbite plane ne conservait pas une direction fixe mais tournait lentement autour de l'axe de la Terre. Cette précession, de direction opposée à celle du mouvement du satellite, est bien entendu distincte de la précession apparente observée de la surface terrestre, et qui est due à la rotation de la Terre. L'expression de la vitesse de précession est assez compliquée, mais une bonne approximation est donnée par

$$J(g/R)^{1/2}(R/\bar{r})^{7/2}\cos\alpha$$

où g représente l'intensité du champ de gravité à l'équateur, R le rayon équatorial terrestre, $\bar{r}$ la distance harmonique moyenne du satellite comptée à partir du centre de la Terre et α l'inclinaison de l'orbite sur le plan équatorial. J est un coefficient relié au second harmonique dans le développement gravitationnel et mesure l'aplatissement de la Terre. Une variation séculaire apparaît également dans l'orientation de l'ellipse dans le plan orbital; le grand axe tourne à la vitesse $\frac{1}{2}J(g/R)^{1/2}(R/\bar{r})^{7/2}(5\cos^2\alpha - 1)$. Donc la vitesse de rotation dépend de l'inclinaison orbitale: elle est de même sens que le mouvement du satellite si $\alpha < 63{,}4°$ et de sens opposé pour des angles plus importants.

En plus de ces effets séculaires, on trouve également des écarts périodiques autour de l'ellipse comme position moyenne. Les perturbations les plus importantes ont une période égale au quart de la période orbitale du satellite et d'amplitude $JR^2\sin^2\alpha/6\bar{r}$.

L'inclinaison orbitale des trois premiers satellites russes était voisine de 65°, la rotation de leur grand axe était lente et difficile à mesurer, tandis que les variations périodiques de la distance radiale n'atteignaient qu'un ou deux kilomètres. La vitesse moyenne de rotation du plan orbital peut être cependant déterminée de façon précise à partir d'observations au cours d'une longue période et montre l'espoir le plus optimiste de corrélation entre la théorie et l'observation.

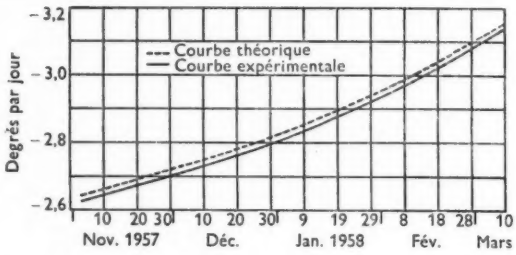


FIGURE 6 – *Vitesse de rotation du plan orbital de Spoutnik II.*

Les vitesses de précession théorique et observée de Spoutnik II sont comparées figure 6. La courbe en pointillé est théorique, tracée à partir des valeurs de $\bar{r}$ et α et des valeurs acceptées en général pour les constantes géophysiques. L'une et l'autre courbes sont sujettes à erreur, la première dans les valeurs mesurées de α et $\bar{r}$, et la seconde dans la vitesse observée, mais il ressort que la différence évidente qui apparaît dans la figure est significative. La vitesse observée suggère une valeur plus faible que celle qui est couramment acceptée pour l'ellipticité de la Terre.

LES EFFETS ATMOSPHÉRIQUES

Mis à part le fait qu'il produit de petites perturbations radiales, le champ gravitationnel non-central ne change pas la forme générale de l'ellipse mais simplement son orientation dans l'espace. L'excentricité et le grand axe ne sont pas affectés, le périgée et l'apogée restent à distances constantes du centre de la Terre. L'effet de l'atmosphère est précisément l'opposé: le freinage

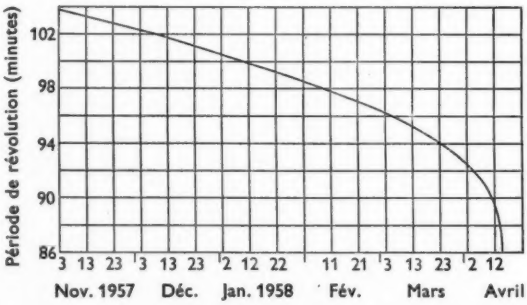


FIGURE 7 – *Période de révolution de Spoutnik II.*

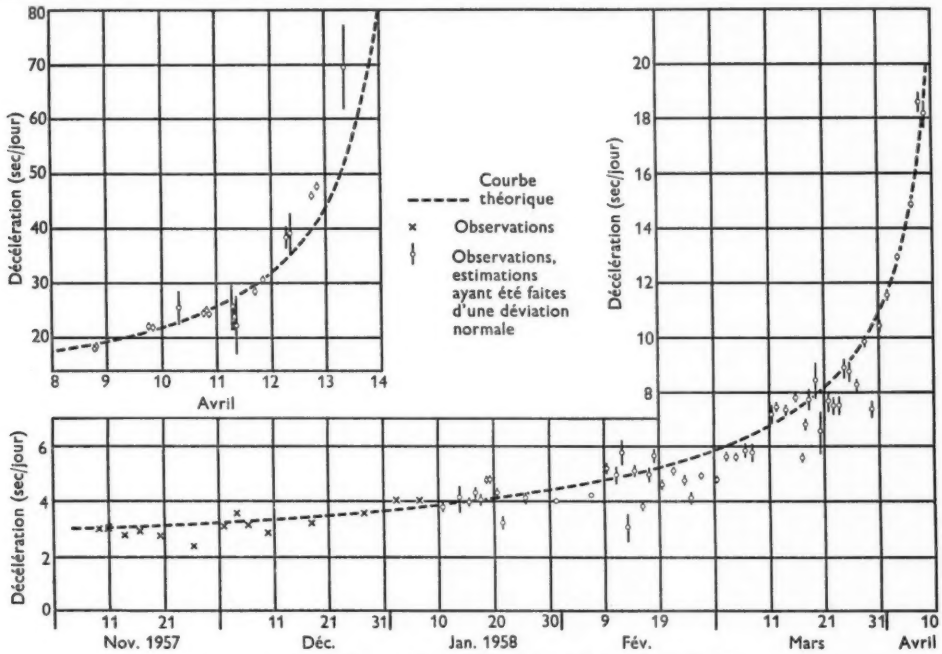


FIGURE 8 – *Taux de variation de la période de Spoutnik II.*

par l'air déforme l'ellipse sans avoir une grande influence sur la rotation du plan orbital ou sur l'orientation de l'ellipse dans ce plan.

Pour une orbite excentrique le retard dû au ralentissement atmosphérique varie au cours d'une révolution. Les altitudes des périgées des trois premiers satellites russes étaient de l'ordre de 225 km, pour des apogées de 900 à 1900 km; étant donné que la densité de l'air décroît exponentiellement lorsque la distance augmente, c'est-à-dire l'altitude, le freinage au périgée était beaucoup plus grand qu'à l'apogée pour ces satellites. Le retard au périgée produit une perte d'altitude de l'apogée suivant; l'excentricité de l'orbite diminue, mais les altitudes de périgée varient assez peu. Lorsque l'orbite est devenue circulaire ou presque, le freinage est beaucoup plus constant et les conditions deviennent différentes: le satellite commence à descendre suivant une trajectoire en spirale, d'abord lentement puis à une allure de plus en plus rapide jusqu'à ce qu'il se désagrège dans les couches inférieures de l'atmosphère.

Les signes extérieurs de ces phénomènes sont une diminution de la période orbitale et un accroissement de la vitesse du satellite, caractère intriguant de prime abord mais il doit être rappelé que le satellite a perdu de l'altitude, par conséquent de l'énergie potentielle. Cette perte est supérieure à l'accroissement d'énergie cinétique et la perte globale d'énergie est très nette; elle correspond à ce qui a été dépensé pour vaincre la résistance de l'air.

Le changement de période orbitale au cours de l'existence de Spoutnik II est indiqué figure 7; la période diminue à une allure croissante à cause de la plus grande résistance de l'air aux plus basses altitudes. Le taux de diminution est évidemment fonction du freinage de l'air qui dépend lui-même de la densité de l'air, de la forme, des dimensions et de la masse du satellite.

On a déduit la relation pour une orbite circulaire. L'intensité gravitationnelle à une distance r du centre de la Terre (considérée uniforme et sphérique de rayon R) étant gR^2/r^2, la vitesse v relative à une orbite circulaire à la distance considéré est donnée par $v^2/r = gR^2/r^2$, donc si l'altitude décroît d'une quantité Δr au cours d'une révolution, le gain d'énergie cinétique est de

$$\tfrac{1}{2}mgR^2\left(\frac{1}{r+\Delta r}-\frac{1}{r}\right) \simeq \tfrac{1}{2}mv^2\frac{\Delta r}{r}$$

où m est la masse du satellite. La perte d'énergie potentielle est: $mgR^2\Delta r/r^2 = mv^2\Delta r/r$, c'est-à-dire deux fois exactement le gain d'énergie cinétique. La différence doit être égale au travail effectué

contre la force de freinage de l'air, F, durant une révolution: $\frac{1}{2}mv^2\Delta r/r = 2\pi rF$.

La force F peut s'écrire: $F = \frac{1}{2}\rho v^2 SC_D$ où ρ est la densité de l'air, S la section normale à la trajectoire, et C_D le coefficient de freinage. Donc $\Delta r/r = 2\pi r\rho SC_D/m$.

La variation du rayon peut s'exprimer en fonction de la diminution de la période orbitale T en observant que $2\pi r/v = 2\pi r^{3/2}/R\sqrt{g}$, d'où

$$\Delta r/r = \tfrac{2}{3}\Delta T/T.$$

Le changement relatif de la période orbitale peut être mesurée de façon précise; donc si SC_D/m est connu, il est possible d'en déduire la densité ρ à l'altitude $r - R$.

L'analyse peut être généralisée aux orbites non circulaires [10] donnant en principe la mesure continue de la densité de l'air; mais pour une forme différente de la sphère, il est difficile d'estimer l'aire effective S à cause du changement d'altitude. A ces densités très basses, il n'y a virtuellement aucun amortissement aérodynamique, et les mouvements de tangage, de roulis, de zig-zag tendent à continuer lorsqu'ils ont été produits. Le comportement irrégulier de la période orbitale est illustré dans la figure 8, qui montre les changements de périodes pour le Spoutnik II. Ce satellite était à peu près cylindrique et les changements marqués de sa brillance notés au cours des passages successifs ont montré les variations de son orientation. L'irrégularité de la période peut refléter partiellement les fluctuations de la densité atmosphérique; mais les autres perturbations — forces magnétiques ou électrostatiques par exemple, ou bombardement météorique — ne peuvent être négligées et des observations systématiques de nombreux autres satellites sont nécessaires pour une explication complète du phénomène.

L'effet cumulatif de la résistance de l'air conduit finalement à la disparition du satellite. Sa durée de vie peut être estimée à partir du changement de sa période orbitale [10], quoique les prévisions soient encore quelque peu incertaines, pour les raisons qui viennent d'être développées.

LES PHÉNOMÈNES IONOSPHÉRIQUES

La propagation des ondes électromagnétiques de l'ionosphère fournit un autre domaine d'investigations pour lesquelles les données de l'orbite sont souhaitables. On a porté beaucoup d'attention aux phénomènes ionosphériques, mais jusqu'au lancement du premier satellite terrestre, il n'était pas possible d'étudier la transmission des ondes venant des couches ionisées ou au-delà. Une grande réserve de renseignements existe maintenant en attente d'analyse, mais il est d'ores et déjà évident que la voie de transmission des signaux est fort complexe. La valeur de ces renseignements radioélectriques est d'autant plus grande que la position relative de la source par rapport aux stations d'observation est connue de façon précise, car la comparaison entre la direction vraie et la direction apparente donnée par les signaux radioélectriques indique l'importance de la courbure de la trajectoire radioélectrique due à l'ionosphère. La courbure dépendra de la fréquence utilisée et de l'angle de site, elle est plus faible pour des passages au zénith et plus importante pour des inclinaisons faibles par rapport à l'horizontale. Une série d'observations à différentes fréquences et différents angles, effectuées en même temps que celles des directions réelles, devrait fournir des renseignements de valeur sur la structure de l'ionosphère.

Je suis très reconnaissant envers mes collègues, Mr. A. N. Beresford et Mr. W. T. Blackband, qui ont fourni un grand nombre d'éléments relatifs aux méthodes radioélectriques, à Mr. D. G. King-Hele et Mr. R. H. Merson pour leurs travaux théoriques et pratiques sur les perturbations orbitales.

RÉFÉRENCES

[1] HAMPTON, D. E. *Proc. Instn Elec. Engrs, B*, **105**, 99, 1958.
[2] BERESFORD, A. N. *Ibid., B*, **105**, 85, 1958.
[3] Staff of the Mullard Radio Astronomy Observatory, Cambridge. *Nature, Lond.*, **180**, 879, 1957.
[4] Staff of the Royal Aircraft Establishment, Farnborough. *Ibid.*, **180**, 937, 1957.
[5] DAVIS, J., EVANS, J. V., EVANS, S., GREENHOW, J. S. et HALL, J. E. *Proc. Instn Elec. Engrs, B*, **105**, 105, 1958.
[6] HEY, J. S. *Ibid., B*, **105**, 107, 1958.
[7] KING-HELE, D. G. et MERSON, R. H. *J. Brit. Interplan. Soc.* 1958. (En cours de publication.)
[8] JEFFREYS, H. «The Earth» (troisième édition), Ch. 4. Cambridge University Press, Londres. 1952.
[9] KING-HELE, D. G. *Proc. roy. Soc.*, 1958. (En cours de publication.)
[10] KING-HELE, D. G. et LESLIE, D. C. M. *Nature, Lond.*, **181**, 1761, 1958.

Revue des livres

ASTRONOMIE

SCHATZMAN, E.: *White Dwarfs*. Pp. VIII + 180. North-Holland Publishing Co., Amsterdam. 19 florins.

Cette intéressante catégorie d'étoiles, connues sous le nom de «naines blanches», est faite d'astres de luminosité intrinsèque faible, de température superficielle assez forte, de très petite taille mais de densité moyenne très élevée. A cause de leur faible luminosité, toutes les étoiles naines blanches connues (250 environ) sont relativement proches mais on ne connaît avec précision que la distance de trente d'entre elles seulement.

Leur grand intérêt tient au fait que la matière qui les compose n'obéit pas aux lois des gaz parfaits, à cause de sa densité extrême. On l'appelle «matière dégénérée». Il en résulte de nombreux problèmes très intéressants au point de vue théorique que la monographie traite à fond. La partie mathématique est naturellement très poussée.

Il paraît que l'hydrogène ne peut exister à l'intérieur d'une étoile naine et que la proportion d'hélium doit être infime. La partie interne se compose presque entièrement d'éléments lourds entourés d'une couche mince faite probablement d'hydrogène presque pur. L'énergie libérée par les réactions thermo-nucléaires doit être très faible. L'instabilité des vibrations provient peut-être de la production d'énergie par le cycle d'évolution de l'hydrogène contenue dans l'enveloppe de l'étoile et peut causer des explosions répétées accompagnées d'éjections de minces coquilles gazeuses. La vie des étoiles naines est cependant très longue, de l'ordre de 10^{11} années.

L'origine de ces astres est incertaine. Des étoiles de masse bien supérieure à celle du soleil ne pourraient devenir des naines blanches qu'en perdant une bonne partie de leur masse. Il se peut que certaines proviennent de novae ayant subi un grand nombre d'explosions répétées. Ce n'est très certainement pas un stade normal de l'évolution stellaire. Un certain nombre d'étoiles binaires et multiples renferment une naine blanche en conjonction avec une ou plusieurs étoiles normales et on en trouve dans certains groupes d'astres relativement jeunes.

Cette monographie résume et discute les connaissances théoriques et expérimentales actuelles sur ces étoiles et en montre l'insuffisance surtout en ce qui concerne leur nature et leur évolution.

H. SPENCER JONES

HANBURY BROWN, R. et LOVELL, A. C. B.: *The Exploration of Space by Radio*. Pp. XII + 207. Chapman and Hall Ltd., Londres. 1957. 35s.

Le Professeur Lovell est directeur de la Station Expérimentale de Jodrell Bank et c'est à lui qu'est due une grande partie du succès de la construction du radio-télescope géant de 80 mètres qui vient d'entrer en service. Les auteurs ont cherché ici à fournir un fond de connaissances modernes de radio-astronomie permettant d'augurer du programme futur du télescope. Le volume sera d'autant plus apprécié du fait que le sujet se développe très rapidement et que le seul autre texte complet de radio-astronomie, par J. L. Pawsey et R. N. Bracewell, s'arrête à 1952.

Les titres des onze chapitres sont: Résumé astronomique, Quelques propriétés des ondes radioélectriques, Techniques de radio-astronomie, Emissions d'ondes galactiques et extragalactiques, Ligne de l'hydrogène, Ondes hertziennes solaires, Météores, Ondes radioélectriques et aurores boréales, Explorations de la Lune par radio, Planètes et satellites terrestres, et Radiotélescope de Jodrell Bank. L'ouvrage insiste naturellement sur les aspects du sujet qui ont intéressé spécialement l'équipe de Manchester, comme les météores.

Ce n'est pas un livre pour le profane et quelques connaissances de physique sont indispensables à sa compréhension. Les notes bibliographiques sont insuffisantes et il aurait mieux valu ne pas essayer d'expliquer des techniques telles que «la corrélation des post-détecteurs» plutôt que de le faire incomplètement. Quelques notions, telles que celle de «profondeur optique», figurent parfois sans explication, mais, en dépit de la condensation nécessaire, c'est dans l'ensemble un exposé très clair de radio-astronomie.

L'impression est bonne et sans erreurs sérieuses.

J. R. SHAKESHAFT

PHYSIQUE

Molecular Physics. Vol. I, No. 1, pp. 98. Taylor and Francis Ltd., Londres. 1958. 25s. la partie; 95s. l'abonnement par volume.

Nouvelle revue internationale destinée à rassembler des articles parus sur n'importe quel aspect de la physique moléculaire dans toutes les parties du monde. Le caractère vraiment international est mis en relief par la composition du comité de rédaction où figurent des représentants de douze pays; les langues employées seront l'anglais, le français ou l'allemand.

Le premier numéro, daté de janvier 1958, est fait d'articles de niveau très élevé sur la résonance magnétique nucléaire, les moments dipolaires, les spectres de rotation et l'opalescence critique dans les solutions de solides. Il y a aussi un certain nombre d'articles théoriques sur la répartition des électrons dans l'hydrogène moléculaire, sur l'application de la théorie générale des processus irréversibles de Prigogine aux systèmes de mécanique quantique et sur la mécanique statistique.

La présentation et l'impression sont excellentes.

R. E. RICHARDS

SERIES, G. W.: *The Spectrum of Atomic Hydrogen*. Pp. VIII + 88. Oxford University Press, Londres. 1957. 8s. 6d.

L'atome d'hydrogène et son spectre ont joué un rôle primordial à tous les stades de la théorie des quanta. Les différences entre la théorie et l'expérience révélées par les applications à l'hydrogène permirent en effet les progrès théoriques que l'on connaît. Ce livre montre clairement la succession des diverses théories et la comparaison de chacune avec les connaissances expérimentales de l'époque. Il complète, plutôt qu'il ne supplante, les manuels existants de mécanique quantique.

Les chapitres sur les travaux de Lamb et Retherford et sur la nouvelle électrodynamique quantique ont un intérêt plus général. Ils méritent d'être lus par les nombreux savants incapables de se tenir au courant des progrès récents décrits dans la littérature périodique.

Le titre pourra induire en erreur car l'ouvrage ne traite qu'un des aspects de l'importance du spectre de l'hydrogène atomique dans la recherche scientifique moderne. La partie astrophysique du sujet n'est pas traitée; l'identification et l'interprétation des radiations linéaires à radiofréquence

de l'hydrogène atomique cosmique constituent un progrès remarquable. Félicitons les éditeurs d'avoir produit ce livre excellent à si bas prix.

R. H. GARSTANG

BECKERLEY, J. G., publié par: *Annual Review of Nuclear Science*, Vol. VII. Pp. v + 496. Annual Reviews Inc., Californie. 1957. $7.

Ce volume poursuit la ligne de conduite annoncée voici quatre ans et continue à informer les spécialistes d'une branche sur la situation d'une autre, la seule condition étant «d'être muni d'une connaissance minimum des éléments du nouveau sujet». Dans notre cas, l'exposé excellent, mais par endroits très technique des particules élémentaires nous a encouragé à aborder celui de la radiobiologie des vertébrés (actions mortelles et effets apparentés) dans la compréhension duquel nos connaissances physiques et notre bonne volonté se sont montrées impuissantes.

Quel est donc le véritable but de cette série, puisqu'il semble différent de celui qui est déclaré? Paradoxalement, son grand succès tient à ce qu'elle met le spécialiste à jour dans son propre domaine en élargissant légèrement son horizon et traitant au moins en partie les terrains voisins. Ainsi, un des articles nous parut extrêmement familier, deux autres nous renseignèrent utilement, trois autres nous semblèrent intéressants, mais nous avons été incapables de dépasser le premier paragraphe des six derniers. La proportion peut être honorable, mais qui a le loisir et les moyens d'acquérir un ouvrage dont il ne comprendra que la moitié et qui sera démodé dans quelques années?

L. R. B. ELTON

WOOSTER, W. A.: *Experimental Crystal Physics*. Pp. VIII + 115. Clarendon Press, Oxford. 1957. 18s.

La plupart des ouvrages sur les propriétés physiques des cristaux sont surtout théoriques. Celui-ci, basé sur le cours résultant des travaux faits au Département de Minéralogie et Pétrologie de Cambridge, s'intéresse au laboratoire. Les expériences sont destinées à illustrer des principes voulus plutôt qu'à atteindre une exactitude rigoureuse et limitées par des considérations pratiques, à savoir que les cristaux soient d'obtention facile et que la durée de l'opération n'excède pas une heure ou deux. La courte étude générale de chaque sujet est suivie de renseignements détaillés sur les appareils nécessaires. Des exemples illustrent la façon de calculer la quantité désirée. La partie la plus importante du livre est consacrée aux constantes optiques des substances opaques et transparentes. Les propriétés dia- et para-magnétiques, la conductivité et l'expansion thermiques, la piézoélectricité, la pyroélectricité et l'élasticité sont introduites par des mesures de constantes ou des démonstrations qualitatives selon le cas. L'ouvrage constitue une introduction très pratique au sujet.

H. M. POWELL

CHIMIE

GRIFFITH, R. H. et MARSH, J. D. F.: *Contact Catalysis* (3e édition). Pp. x + 299. Oxford University Press, Londres. 1957. 50s.

Cette troisième édition, refaite et augmentée, du *Mechanism of Contact Catalysis* de Griffith offre une documentation énorme et condensée sur l'adsorption et la catalyse par contact. On y trouve aussi la plupart des théories modernes sur la question, sans oublier l'importance des défauts de réseaux, le facteur électronique indiqué par Dowden et la correspondance géométrique entre les molécules adsorbées et la surface du catalyseur. La préparation des catalyseurs fait également l'objet de nombreuses explications pratiques. La bibliographie est excellente et le lecteur n'aura pas de difficulté à suivre aucun des sujets pratiques ou théoriques.

Mais cette mine d'information ne se lira pas facilement d'un bout à l'autre, car elle consiste principalement en une série d'articles expérimentaux et théoriques condensés. La discussion est souvent résumée et s'enchaîne mal d'une section à l'autre. On a une impression de hâte et de chevauchement entre certains chapitres. Mais l'ouvrage est mieux équilibré et renferme de nombreuses suggestions d'études plus poussées. C'est probablement la meilleure revue, large et détaillée, qui ait paru jusqu'ici sur le sujet et elle sera indispensable aux chimistes de l'industrie et des universités.

Il est sans doute exact, comme le font remarquer les auteurs en conclusion, que «les grandes lignes du sujet se précisent», même si «le mécanisme détaillé des réactions individuelles est encore inconnu dans la plupart des cas.»

N. K. ADAM

CHARLOT, G. et BÉZIER, Denise: *Quantitative Inorganic Analysis*. Traduit de la 3e édition française par R. C. Murray. Pp. x + 691. Methuen & Co. Ltd., Londres; John Wiley & Sons Inc., New-York. 1957. 84s.

Le livre fit innovation quand il parut en 1944 et sa 3e édition traduite ici est une tentative de revue générale de toutes les méthodes d'analyse quantitative. La première partie (322 pages) traite des divers moyens d'approche, insistant sur les différents types de réactions et les principes théoriques fondamentaux. La seconde (316 pages) étudie la détermination de chaque élément un à un, faisant un choix critique de méthodes plutôt qu'une revue complète. Les 46 dernières pages sont occupées par des renseignements numériques, des notes bibliographiques et des index.

Les auteurs ont volontairement évité de rivaliser avec les manuels existants donnant des procédés détaillés de détermination quantitative. On regrette pourtant un manque de détails inévitable et, parfois aussi, un certain déséquilibre dans une œuvre qui offre souvent de façon originale et intéressante, une véritable mine d'information sur d'autres aspects de l'analyse. Ainsi, la chromatographie sous toutes ses formes n'occupe que 7 pages, la spectrographie d'émission et les emplois de la radioactivité 5 pages respectivement, la détermination des traces 3 seulement et l'échantillonnage, une seule page. Le style saccadé de l'original doit avoir été gênant à traduire, ce qui explique les quelques maladresses et inexactitudes.

Malgré ces faiblesses, l'ouvrage intéressera et stimulera tous les professeurs et étudiants. Il montre admirablement la diversité et l'ampleur du domaine toujours plus vaste de l'analyse quantitative moderne.

H. IRVING

KOLTHOFF, I. M. et BELCHER, R. avec la collaboration de STENGER, V. A. et MATSUYAMA, G.: *Volumetric Analysis*. Vol. III — *Titration Methods: Oxidation-Reduction Reactions*. Pp. IX + 714. Interscience Publishers Inc., New-York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1957. $15.

La parution du volume III complète le traité d'analyse volumétrique du Professeur Kolthoff commencé en 1942. Le premier volume donnait les fondements théoriques; le volume II, paru en 1947, s'occupait des réactions acide-base, à précipitation et à formation de complexes. Ce dernier est consacré entièrement aux réactions rédox.

Le Professeur Kolthoff attire l'attention dans la préface sur le nombre des auteurs, causé d'abord par le désistement du Dr Stenger, collaborateur aux deux premiers volumes, puis par celui du Dr Matsuyama. L'ouvrage fut finalement terminé avec l'aide du Dr Belcher.

Le chapitre d'introduction générale est suivi de sections sur le permanganate, le sulfate cérique, le dichromate de potassium, l'iodométrie dans ses applications aux déterminations organiques et minérales, la détermination de Karl Fischer, l'iodate de potassium, le périodate, le bromate de potassium et les hypohalites. Les deux derniers des 15 chapitres étudient, l'un, un certain nombre d'agents de réduction forts, comme les sels ferreux, titaneux, stanneux, mercureux, vanadeux et chromeux, l'autre, un assortiment varié de produits de titrage oxydants et réductifs.

Il n'est pas possible de décrire plus amplement ici la portée de l'œuvre mais on se rend compte que plus de 700 pages consacrées uniquement aux titrages basés sur les réactions rédox constituent une étude des plus poussées. Le volume mérite certainement de figurer avec les «Kolthoff» précédents dans la bibliothèque de l'analyste. L'impression et la reliure sont excellentes.

R. G. CHIRNSIDE

FRITZ, J. S. et HAMMOND, G. S.: *Quantitative Organic Analysis*. Pp. IX + 303. John Wiley & Sons Inc., New-York. Chapman and Hall Ltd., Londres. 1957. 52s.

Relativement peu de réactions organiques sont quantitativement exactes et les chimistes ont souvent à affronter l'analyse des mélanges de corps résultants. Ce volume décrit les méthodes, basées sur des réactions sélectives de groupes fonctionnels, permettant souvent d'évaluer les constituants individuels sans avoir tout d'abord à les isoler. La plupart de ces méthodes sont originales, les auteurs ayant fait de nombreux apports sur la question.

A part le chapitre 2, assez difficile à suivre, le texte est clair et se lit avec plaisir. On apprécie surtout l'insistance sur le raisonnement ayant conduit à un choix particulier de méthode et à la façon d'adapter les méthodes existantes ou d'en découvrir de nouvelles pour résoudre des problèmes nouveaux. Un chapitre entier est même consacré à ce dernier point. D'autres chapitres traitent de méthodes employant des titrages acide-base dans des solvants non-aqueux, de réactions rédox, de la mesure spectrophotométrique des propriétés physiques, de complexes d'ions métalliques, de la cinétique dans l'analyse, des séparations et de l'analyse élémentaire. Quelques exemples détaillés de procédés sont donnés à la fin.

L'ouvrage est destiné premièrement à l'enseignement aux Etats-Unis, mais il rendra surtout service à tous les analystes professionnels voulant employer les méthodes les plus récentes dans l'étude de leurs problèmes.

JOHN F. W. MCOMIE

CASON, J., publié par: *Organic Syntheses*, Vol. XXXVII. Pp. VII + 109. John Wiley & Sons Inc., New-York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1957. 32s.

Ce dernier volume de la série annuelle inaugurée en 1921 renferme des instructions détaillées pour la préparation de 31 composés organiques. Ces derniers comprennent l'oxyde de benzfurazane, le benzoylacétanilide, la 3-benzoylpyridine, le 2-chloronicotinonitrile, le chlorhydrate de diaminouracile, l'acide *trans*-2-dodecénoïque, l'α-nitrobutyrate d'éthyle, la *n*-heptamide, l'acide parabanique et l'*ar*-tétrahydra-α-naphtol. Les synthèses sortant le plus de l'ordinaire sont celles du norbornylène avec un rendement allant jusqu'à 71% à partir du di*cyclo*pentadiène et de l'éthylène et de la pseudopelletiérine à partir de 2-éthoxy-3:4-dihydro-2H-pyrane en passant par le dialdéhyde glutarique obtenu par hydrolyse et par condensation avec la méthylamine et l'acide dicarboxylique d'acétone.

Il nous semble depuis longtemps que ces volumes gagneraient en utilité par l'addition de quelques notes sur les possibilités de synthèse de certaines préparations. Cela serait superflu pour les composés servant d'intermédiaires ou de points de départ évidents pour une grande variété de synthèses tels que le benzoylmalonate de diéthyle, le benzoylacétate d'éthyle, l'acide et l'imide glutariques, le chlorure d'oléoyle ou l'acide stéarolique qui sont tous décrits dans ce volume. Mais il serait certainement intéressant d'avoir de telles notes sur le 2-chloro-2-méthyl-*cyclo*hexanone, le 1-diéthylamino-3-butanone, le 3:4-dinitro-3-hexène, l'acide 4-éthyl-2-méthyl-2-octénoïque, le 1:4-diphényl-5-amino-1:2:3-triazole, le malonate éthyl *tert.*-butyl, l'oxyde d'isophorone et le dichlorure trichlorométhylphosphoryle, dont la préparation figure aussi dans ce volume.

W. BAKER

ROCHOW, E. G., HURD, D. T. et LEWIS, R. N.: *The Chemistry of Organometallic Compounds*. John Wiley & Sons Inc., New-York; Chapman and Hall Ltd., Londres. 1957. 68s.

On s'intéresse beaucoup aux composés organométalliques et cet excellent volume, œuvre de chercheurs bien connus dans ce domaine, sera certainement bien accueilli. Les auteurs ont, paraît-il, essayé de présenter les aspects théoriques, factuels, et pratiques de ces corps sous une forme qui rende service à l'étudiant de même qu'au lecteur courant ayant des connaissances élémentaires de chimie. Le choix des sujets traités est naturellement limité mais il nous semble que l'ouvrage aura réelle valeur pour l'étudiant et les chercheurs ayant l'intention de se spécialiser dans ce domaine.

Le livre débute par l'exposé des propriétés physiques et chimiques générales des composés organométalliques puis continue par l'étude des propriétés générales de la liaison carbone-métal. Le troisième chapitre traite des diverses méthodes connues de préparation des composés organométalliques. Sur cette toile de fond, les auteurs font une revue systématique des composés formés d'éléments métalliques et métalloïdes. Les composés organométalliques des métaux de transition en particulier retiennent l'attention. La découverte en 1951 des composés cyclopentadiényl du fer éveilla grand intérêt et inaugura des travaux qui résultèrent en une connaissance chimique poussée de presque tous les métaux de transition et de la plupart des terres rares. Un chapitre captivant s'occupe des applications des composés organométalliques en synthèse organique et la section sur les oléfines simples renferme l'étude du procédé Ziegler. Le dernier chapitre fait le compte rendu de certains types spéciaux de composés organométalliques tels que les dérivés fluorocarbonés, les complexes d'oléfines, les composés carbonylés, les complexes de cyanures et d'isonitriles et les carbures. Les hydrures sont cités, bien qu'ils ne se conforment pas à la définition des composés organométalliques, car les auteurs considèrent que la comparaison des hydrures métalliques avec les composés organométalliques correspondants offre des aperçus intéressants. A peu d'exceptions près, il faut à ces

derniers des techniques spéciales de préparation, purification et maniement. Le volume ne fait pas le compte rendu détaillé de ces méthodes expérimentales mais une courte section intitulée «techniques de maniement des matériaux» renferme d'excellents conseils. Toutefois, la méthode nouvelle proposée pour la destruction des produits très volatils a des limites évidentes. Le texte est abondamment augmenté de notes bibliographiques. Félicitons les auteurs d'avoir atteint leur but et d'avoir produit un volume de belle présentation et de lecture facile qui ne manquera pas de stimuler l'intérêt pour ce domaine particulier de la chimie.

W. WARDLAW

MÉTÉOROLOGIE

KENDREW, W. G., publié par: *Climatology* (2e édition). Pp. xv+400. Clarendon Press, Oxford. 1957. 42s.

La seconde édition de ce manuel bien connu comporte de nombreuses modifications peu importantes ainsi que des sections nouvelles sur des questions telles que les courants-jets et les anticyclones obstructeurs, qui aident à moderniser l'œuvre. Le nouvel index d'emplacements géographiques sera certainement utile, mais l'index des sujets est toujours insuffisant.

L'auteur déclare dans la préface que le manque de place l'a empêché d'inclure certains détails «tels que les périodes envisagées dans le calcul des valeurs moyennes de faits climatologiques». C'est une omission qui n'est certainement pas «d'importance secondaire» comme la décrit W. G. Kendrew, car une valeur moyenne concernant une période indéterminée n'a souvent pas la signification qu'on lui attribue. En particulier, la comparaison de valeurs moyennes obtenues dans des stations différentes suggérée par certaines courbes et tables de renseignements est complètement injustifiée si les périodes intéressées sont différentes.

Malgré tout, cette excellente introduction à la climatologie moderne renferme beaucoup plus qu'une collection de faits arides. Elle fait vivre la climatologie et mérite certainement d'être possédée par tout étudiant du sujet.

F. G. HANNELL

BIOLOGIE

FREY-WYSSLING, A.: *Macromolecules in Cell Structure*. Pp. vii+112. Harvard University Press, Cambridge, Mass; Oxford University Press, Londres. 1957. 40s.

Le fossé séparant la physiologie et la biochimie de la cellule, d'une part et sa morphologie d'autre part est resté longtemps infranchissable. Mais un pont solide vient d'être établi grâce aux techniques physiques modernes telles que la diffraction des rayons X et la microscopie électronique. Le Professeur A. Frey-Wyssling de Zurich a joué un rôle primordial dans cette tâche. Il travaillait dans ce domaine bien avant le perfectionnement des techniques modernes et il les a habilement utilisées pour vérifier ses premières hypothèses de structure au niveau sous-microscopique.

L'ouvrage, basé sur les Conférences Prather données à Harvard en 1956, retrace brièvement l'évolution de la pensée de l'auteur et complète le compte rendu plus long paru en 1953 dans son œuvre d'autorité: *Submicroscopic Structure of the Cytoplasm*. La plupart des exemples sont tirés de la botanique et proviennent des travaux de l'auteur et de ses collègues à Zurich. Les chapitres sur la structure détaillée des grains d'amidon et des parois cellulaires sont suivis de l'étude de la croissance et de la différenciation dans ces parois. La structure des chloroplastides et des macromolécules du cytoplasme est étudiée dans les deux dernières conférences d'un ouvrage intéressant, agréable et bien illustré.

R. N. ROBERTSON

BIOCHIMIE

NORD, F. F., publié par: *Advances in Enzymology and Related Subjects of Biochemistry*, Vol. xix. Pp. 457. Interscience Publishers Inc. New-York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1957. $9,85.

Ce volume renferme cinq revues de niveau exceptionnellement élevé sur les progrès réalisés en enzymologie. Vishniac, Horecker et Ochoa décrivent divers systèmes enzymatiques entrant dans le métabolisme des cellules photosynthétiques, sous l'en-tête *Enzymic Aspects of Photosynthesis*. L'article de H. S. Mason intitulé *Mechanisms of Oxygen Metabolism* est une monographie complète de plus de 150 pages accompagnée de 842 notes bibliographiques. Le mécanisme chimique de trois types différents de réactions d'oxydation à catalyse enzymatique est décrit de la façon suivante: 1) transfert d'oxygène, 2) transfert d'électrons, 3) oxydases à fonction mixte. L'auteur est nettement mieux versé dans le transfert d'oxygène et les oxydases à fonction mixte que sur le transfert d'électrons qui est brièvement traité. Dans un article intitulé *Aktivierung von Aminosäuren*, Wieland et Pfleiderer font un très bon exposé du mécanisme du genre de réactions susceptibles d'entrer dans la formation des liaisons de peptides pendant la biosynthèse des protéines. Kimmel et Smith dans une revue des propriétés de la papaïne décrivent un sujet qui leur est presque entièrement propre. C'est une bonne leçon de choses sur la façon dont on devrait poursuivre l'étude des propriétés physiques et chimiques ainsi que du mécanisme de réaction d'une enzyme isolée. L'article final de Braunstein sur «Les voies principales de l'assimilation et dissimilation de l'azote chez les animaux» fait une revue très érudite des idées les plus récentes sur le métabolisme de l'azote. Volume de grande valeur.

H. GUTFREUND

BOTANIQUE

TAYLOR, W. R.: *Marine Algae of the Northeastern Coast of North America* (2e édition, corrigée). Pp. viii+509. The University of Michigan Press, Ann Arbor. 1957. $12,50.

La première édition de cette œuvre parut en 1937. C'était le seul exposé complet des algues marines trouvées sur le littoral atlantique nord-américain de la Virginie au cercle polaire. C'est maintenant un classique de la littérature phycologique. Cette édition corrigée renferme la description de plus de 500 plantes marines trouvées dans les zones littorales et sous-littorales, dont un certain nombre d'espèces récemment découvertes. Le texte a été aussi développé pour inclure les résultats de travaux actuels sur la taxonomie et la nomenclature.

Le Professeur Taylor fait l'historique des recherches antérieures sur le sujet, décrit la transformation de la flore algale d'une latitude à l'autre et donne des instructions pratiques sur le ramassage et la conservation. Le catalogue descriptif comprend une légende pour l'identification des ordres, familles, genres et espèces. Il y a aussi une excellente bibliographie de 18 pages.

F. N. WOODWARD

Brèves notices bibliographiques

(Ces notices sont plus descriptives que critiques et sont destinées à donner une indication générale de la nature et de la portée des ouvrages.)

RIEFF, P., publié par: *Daedalus*. Pp. 140, Academy of Arts and Sciences. Publication trimestrielle. Abonnement: $6,50 par an.

Le numéro d'hiver 1958 de cette revue est, en réalité, le N° 1 des Compte rendus de l'Académie américaine des Arts et des Sciences, volume 87 mais elle est maintenant présentée sous un nouveau format. Ce numéro spécial est consacré à la science et au point de vue du monde moderne. Son but, et celui des numéros à suivre, est de faire le pont entre diverses sections du monde académique. Il s'adresse au public cultivé.

DE CALLATAŸ, V.: *Atlas of the Sky*. Pp. 157. Macmillan & Co. Ltd., Londres; St Martin's Press, New-York. 1958. 65s.

Le livre a été traduit par Sir Harold Spencer Jones qui a aussi écrit la préface. Son but est de permettre à l'astronome amateur sans télescope d'identifier les constellations et les étoiles visibles. Les illustrations comprennent un certain nombre de planches représentant le ciel où les étoiles paraissent comme des points blancs, classés selon leur éclat apparent, sur fond noir. Il y a aussi de nombreux dessins au trait. Le texte donne un aperçu élémentaire de l'astronomie moderne.

PRICE, W. J.: *Nuclear Radiation Detection*. Pp. VII + 382. McGraw-Hill Book Co. Inc., New-York et Londres. 1958. 70s.

L'auteur a rassemblé ici les faits fondamentaux de tous les détecteurs importants de radiation nucléaire en usage à l'heure actuelle; il donne aussi des précisions sur l'application de divers détecteurs pour permettre au lecteur de choisir et, souvent, d'appliquer l'équipement en question. Bien que presque tous les appareils décrits se trouvent dans le commerce, il insiste sur les principes de base à l'intention de ceux qui désirent fabriquer les leurs. L'ouvrage fait partie de la Série McGraw-Hill de Mécanique nucléaire.

PIRIE, B. J. M., publié par: *The Scaling-up of Chemical Plant and Processes*. Pp. 136. The Institution of Chemical Engineers, Londres. 1958. 60s.

Compte rendu d'une conférence collective tenue à Londres en 1957 sous les auspices du *Koninklijk Instituut van Ingenieurs* (groupement d'ingénieurs chimistes), de la *Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging* (section de technologie chimique) et de l'*Institution of Chemical Engineers*. L'étude du sujet est à la fois générale et détaillée, avec un total de 13 articles traitant, notamment, de l'emploi de la cinétique, des aspects économiques et de l'augmentation à l'échelle de certains appareils tels que les réacteurs à boue agitée, les procédés d'extraction des solvants, les dispositifs pour l'absorption des gaz et les installations pour filtrage continu. Les articles sont accompagnés de notes bibliographiques.

MEGSON, N. J. L.: *Phenolic Resin Chemistry*. Pp. VII + 323. Butterworth's Scientific Publications, Londres: Academic Press Inc., New-York. 1958. 65s.

L'aspect traité ici des résines phénoliques est chimique plutôt que technologique et l'auteur s'est limité dans l'ensemble à celles où entre la formaldéhyde et aux progrès réalisés depuis 1939. Il y a des chapitres sur les alcools phénoliques, les condensations ammoniacales et phénoformaldéhyde apparentées, les synthèses rationnelles et les vitesses de réaction, entre autres. L'étude est assez détaillée et il y a une très grande variété de notes bibliographiques, même dans des langues peu répandues comme le japonais.

Population Studies: Animal Ecology and Demography. Pp. XIV + 437. Biological Laboratory, Cold Spring Harbor, New-York. 1957. $8.

Volume XXII de la série de Compte rendus des Conférences de Cold Spring Harbor de biologie quantitative. Outre les discours d'introduction et de clôture, il y a 33 articles originaux sur l'étude historique des groupements humains, la théorie démographique, l'étude expérimentale et théorique des populations animales, la croissance des groupements humains, l'écologie des peuples naturels et autres questions ayant trait aux agglomérations et peuplements.

ALSTON, J. M. et BROOM, J. C.: *Leptospirosis in Man and Animals*. Pp. XII + 367. E. & S. Livingstone Ltd., Edimbourg et Londres. 1958. 40s.

Les auteurs cherchent à faire le point des connaissances sur les leptospires et les maladies dont ils sont responsables chez l'homme et les animaux ainsi que sur la direction des recherches à l'avenir. Ils font remarquer la croissance fréquente de la maladie dans certains endroits et les nouveaux sérotypes intéressés. Un chapitre de C. J. A. Doughty sur l'aspect légal de la leptospirose a été ajouté pour rendre l'œuvre plus complète.

WHEELER, E. L.: *Scientific Glassblowing*. Pp. XXII + 478. Interscience Publishers Inc., New-York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1958. $9,75.

Le travail du verrier moderne pourrait bien bénéficier de la coopération du chimiste de recherche. Ce volume est destiné à permettre au verrier professionnel d'atteindre ce niveau. Œuvre d'un verrier, il décrit la technique du feu-croisé telle qu'on l'emploie en Amérique, donnant des indications allant des simples jointures aux dispositifs compliqués à vide et distillation. Il y a aussi des chapitres sur les techniques modernes telles que la chromatographie, l'extraction et la distillation, connaissances de base que l'auteur considère indispensables au verrier de profession.

MARRACK, J. R., publié par: *Immunology*, Vol. 1, No. 1. Pp. III + 87. Publication trimestrielle des Blackwell Scientific Publications, Oxford. 1958. 18s. le numéro. Abonnement: 60s. par an.

Cette revue est l'organe officiel de la *British Society for Immunology* et ce numéro renferme 8 articles sur des points ayant trait à l'immunité, dont trois sur les homogreffes de la peau et le reste sur les anticorps, leurs propriétés et emplois. La note du directeur de publication fait remarquer que l'immunologie concerne un champ beaucoup plus vaste que celui-ci, que ses frontières sont en réalité incertaines et que des articles paraîtront sur les grandes lignes comme sur les points limités.

Notes biographiques sur les collaborateurs

V. V. BELOUSSOV

Est né en 1907. Il est Membre Correspondant de l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S. et Président de la Commission de Géodésie et de Géophysique de l'Académie Soviétique. Il s'est occupé surtout de la tectonique, étudiant particulièrement l'histoire des mouvements ondulatoires du noyau terrestre et l'évolution géologique de la chaîne du Caucase. On retrouve les résultats principaux de ses travaux dans Общая Тектоника (Tectonique générale) paru à Moscou en 1948. Il a aussi écrit, entre autres, Очерки Геохимия природных Газов (Essais sur la géochimie des gaz naturels) paru à Leningrad en 1937 et Большой Кавказ (Le grand Caucase) paru à Leningrad également, 1938–40.

M. F. PERUTZ

Ph.D., F.R.S.

Fit ses études aux Universités de Vienne et de Cambridge et est Directeur du Centre de Biologie Moléculaire du *Medical Research Council* au Laboratoire Cavendish de Cambridge. Il est aussi Chargé de cours au Laboratoire de recherche Davy Faraday à la *Royal Institution* de Londres. Son domaine principal est la cristallographie par les rayons X et surtout l'étude de la structure de l'hémoglobine et l'investigation des propriétés physiques et chimiques des cristaux de protéine.

H. P. BROIDA

A.B., A.M., Ph.D.

Naquit à Aurora, dans le Colorado, en 1920 et étudia aux Universités du Colorado et d'Harvard. En 1949, après avoir enseigné à Wesleyan et Harvard, il entra au *National Bureau of Standards* où il a fait des travaux sur la spectroscopie des flammes, la cinétique chimique, les spectres diatomiques, l'analyse des isotopes, les instruments médicaux et, conséquence de ses recherches sur les flammes, récemment sur la production et la stabilisation des radicaux libres.

ANTOINETTE PIRIE

M.A., Ph.D.,

Est née à Londres en 1905 et a fait ses études à *Newnham College*, Cambridge. Elle a travaillé au Laboratoire de Biochimie de cette Université sous la direction du Professeur Sir F. G. Hopkins jusqu'en 1940, date à laquelle elle se rendit à Londres puis à Oxford pour étudier la biochimie de l'œil. Elle est maintenant Chargée de cours d'Ophtalmologie à l'Université d'Oxford. Elle s'intéresse surtout aux troubles biochimiques responsables de la cataracte et aux rapports entre la biochimie de l'œil et le rôle de ses diverses parties. Elle a écrit *The Biochemistry of the Eye* en collaboration avec le Dr Ruth van Heyningen.

WŁODZIMIERZ HUBICKI

M.A., Ph.D.

Naquit à Boryslaw en 1914 et étudia à l'Université de Cracovie. En 1938, y devint assistant de recherches de Chimie Minérale et pendant la guerre enseigna à l'Ecole Technique de Cracovie. Il est depuis 1947 professeur de Chimie Minérale à l'Université Marie Curie-Skłodowska à Lublin, dont il fut le Doyen de 1949 à 1952, il en est Recteur-adjoint depuis 1956. Il enseigne aussi à l'Institut d'Histoire de la Science de l'Académie polonaise des Sciences et dirige la section d'Histoire de la Chimie. Il a écrit de nombreux articles de recherche de chimie minérale et analytique et sur les débuts de la chimie.

E. G. C. BURT

B.Sc., A.M.I.E.E.

Est né dans le Somerset en 1922 et fit ses études à l'Université de Londres (*Queen Mary College*), passant ses diplômes d'ingénieur électricien en 1943. Il entra à la Section des Armes Téléguidées du *Royal Aircraft Establishment* comme officier scientifique en 1947. En 1955 il devint Officier scientifique supérieur principal et Chef de la Division de l'Analyse Dynamique, qui s'occupe de la théorie du guidage et du contrôle des projectiles et des satellites. Il a fait paraître des articles sur les techniques de calcul analogique, la théorie des servo-mécanismes et l'effet des dérangements imprévus dans ces systèmes.